

43  
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

CAMPUS ARAGÓN

“PROTOTIPO DE UNA MAQUINA DE ELECTROEROSION, FASE II”.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
I N G E N I E R O  
MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A N:  
RUIZ HERRERA RAFAEL  
VALVERDE MERLIN ARTURO

ASESOR:

M. EN C. DANIEL ALDAMA AVALOS

MÉXICO 1999

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

27/2/99



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
<b>1. MARCO TEORICO .....</b>	<b>3</b>
1.1. MECANIZADO:.....	4
1.1.1. <i>Mecanizado con arranque de viruta</i> .....	4
1.1.2. <i>Mecanizado por abrasión.</i> .....	5
1.1.3. <i>Mecanizado ultrasónico:</i> .....	6
1.1.4. <i>Mecanizado térmico</i> .....	7
1.1.5. <i>Noiones de Electroerosión</i> .....	7
1.2. ELECTROEROSIÓN .....	8
1.2.1. <i>Surgimiento de la Electroerosión y su evolución.</i> .....	8
1.2.2. <i>¿Qué es una máquina de Electroerosión?</i> .....	9
1.2.3. <i>Factores para la Electroerosión</i> .....	10
1.3. MÁQUINAS DE ELECTROEROSIÓN COMUNES EN LA INDUSTRIA.....	12
1.3.1. <i>Métodos convencionales</i> .....	12
1.3.2. <i>Métodos sofisticados.</i> .....	16
1.3.3. <i>Nuevas tendencias.</i> .....	16
1.4. PRODUCCIÓN Y DESARROLLO DE MÁQUINAS DE ELECTROEROSION.....	17
1.4.1. <i>En el ámbito nacional</i> .....	17
1.4.2. <i>En el ámbito internacional.</i> .....	17
1.5. FABRICANTES Y DISTRIBUIDORES DE MÁQUINAS DE ELECTROEROSIÓN. ....	20
<b>2. GENERALIDADES.....</b>	<b>21</b>
2.1. PRINCIPIO FÍSICO. ....	22
2.1.1. <i>Factores que producen la Electroerosión.</i> .....	23
2.2. SISTEMAS BÁSICOS Y COMPONENTES DE UNA MÁQUINA DE ELECTROEROSION.....	24
2.2.1. <i>Sistema de descarga eléctrica.</i> .....	24
2.2.2. <i>Sistema de avance de la herramienta.</i> .....	26
2.2.3. <i>Sistema de circulación del dieléctrico.</i> .....	27
2.2.4. <i>Sistema de control</i> .....	28
2.3. OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE UNA MÁQUINA DE ELECTROEROSIÓN POR PENETRACIÓN. ....	29
2.3.1. <i>Operación de una Máquina de Electroerosión (AGIF Plus, Generador K. 1969).</i> .....	29
2.3.2. <i>Elementos de mando del generador y de la máquina.</i> .....	30
2.3.3. <i>Dispositivos de control y seguridad.</i> .....	32
2.3.4. <i>Control y puesta en servicio del generador.</i> .....	33
2.3.5. <i>Puesta en marcha funcionamiento normal.</i> .....	34
2.4. MÁQUINA DE ELECTROEROSIÓN POR PENETRACION PROTOTIPO I DESARROLLADA EN LA ENEP ARAGON.....	36
2.4.1. <i>Características.</i> .....	36
2.4.2. <i>Operación.</i> .....	37
2.5. RECOMENDACIONES PARA POSIBLES MEJORAS Y MODIFICACIONES AL PROTOTIPO I .....	39
2.5.1. <i>Recomendaciones Generales.</i> .....	39
2.5.2. <i>Recomendaciones para la fuente de alimentación.</i> .....	39
2.5.3. <i>Recomendaciones para el sistema de descarga eléctrica</i> .....	39
2.5.4. <i>Recomendaciones para el sistema de avance del electrodo.</i> .....	40
2.5.5. <i>Recomendaciones para el sistema de circulación del dieléctrico.</i> .....	40
2.6. RESPUESTA A LAS RECOMENDACIONES PARA EL PROTOTIPO DE ELECTROEROSIÓN FASE I .....	41

<b>3. PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE ELECTROEROSION FASE II DESARROLLADA EN LA E.N.E.P. ARAGON.</b>	<b>44</b>
3.1. GENERALIDADES	45
3.1.1. <i>Un paso a la calidad.</i>	45
3.1.2. <i>¿Que son las normas de operación mexicanas?</i>	47
3.1.3. <i>Divisiones de las N O M. (NOM CC).</i>	47
3.1.4. <i>Las N.O.M. y el Desarrollo e Investigación.</i>	48
3.1.5. <i>Áreas de las N.O.M. que nos conciernen</i>	49
3.2. ASPECTOS MECÁNICOS Y ELÉCTRICOS DEL PROTOTIPO DE UNA MAQUINA DE ELECTROEROSIÓN "FASE II"	55
3.2.1. <i>Módulo del sistema de la fuente de alimentación</i>	57
3.2.2. <i>Módulo del sistema del circuito de descarga eléctrica</i>	60
3.2.3. <i>Módulo del sistema servomando.</i>	72
3.2.4. <i>Módulo de Sistema de Seguridad y Protección</i>	86
3.2.5. <i>Módulo del Sistema de Control</i>	90
3.2.6. <i>Módulo de la estructura</i>	93
3.2.7. <i>Módulo de circulación del dielectrico</i>	99
3.2.8. <i>Módulo del sistema del cabezal</i>	105
3.2.9. <i>Módulo de mesa de coordenadas y tina de trabajo.</i>	113
3.3. IMPLEMENTACIÓN DE LOS MÓDULOS EN UN SOLO SISTEMA	115
3.3.2. <i>Relación de señales y conexión de elementos de control</i>	118
3.4. PUESTA EN MARCHA	130
3.4.1. <i>Verificación de condiciones de Operación.</i>	130
3.4.2. <i>Verificación de puntos de Seguridad.</i>	131
3.4.3. <i>Recopilación de Datos.</i>	132
<b>4. MANTENIMIENTO A UNA MÁQUINA DE ELECTROEROSIÓN Y EXPERIENCIAS EN CAMPO</b>	<b>136</b>
4.1. <i>¿PORQUÉ DEL MANTENIMIENTO?</i>	137
4.2. <i>SECUENCIA DE MANTENIMIENTO</i>	138
4.3. <i>DETERMINACIÓN DEL ESTADO INICIAL DE LA MÁQUINA DE ELECTROEROSIÓN AGIE PLUS</i>	140
4.3.1. <i>Realización de una Bitácora de operación de la Máquina (Historial).</i>	140
4.3.2. <i>Recopilación Bibliográfica Referente al Equipo</i>	140
4.3.3. <i>Identificación de los Módulos que la componen</i>	141
4.3.4. <i>Verificación Personalizada</i>	141
4.3.5. <i>Recopilación de datos</i>	141
4.3.6. <i>Reporte General.</i>	141
4.3.7. <i>Corrección y Solución de Fallas.</i>	142
4.4. <i>EXPERIENCIAS EN CAMPO.</i>	143
4.4.1. <i>Objetivos.</i>	143
4.4.2. <i>Desarrollo.</i>	143
4.4.3. <i>Actividades y Cronograma.</i>	144
4.4.4. <i>Programa</i>	145
4.4.5. <i>Reportes de Actividades.</i>	148

<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>151</b>
<b>AFENDICES .....</b>	<b>155</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>192</b>

AGRADECEMOS A LA

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

Y EN ESPECIAL A LA

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES**

**"ARAGÓN"**

**POR LA PREPARACION ACADÉMICA Y HUMANA QUE NOS BRINDARON  
DURANTE NUESTRA FORMACIÓN PROFESIONAL**

**A NUESTRO ASESOR**

**M. EN I. DANIEL ALDAMA AVALOS**

**POR EL TIEMPO DEDICADO, LA PACIENCIA CON LA QUE TRABAJÓ CON  
NOSOTROS Y SOBRE TODO POR ENSEÑARNOS EL VALOR DE HACER  
LAS COSAS LO MEJOR POSIBLE**

Los tesistas.

CON AMOR A MIS ABUELOS, ENRIQUE Y MARIA  
A FERNANDO, GUADALUPE Y ELSIC,  
A VICTOR, ROBERTO ENRIQUE, MIRIAN Y LAURA  
POR SU INCONMENSURABLE APOYO.

A DIOS POR LA GRACIA DE LA VIDA Y POR PONER  
A DIANA EN MI CAMINO

Rafael.

GRACIAS AL MAESTRO ALDAMA POR SU  
CONFIANZA, ARTURO VALVERDE Y ROSITA POR  
LA ENTREGA Y DEDICACIÓN A ESTE TRABAJO.

A MIS AMIGOS POR DEJARME SER.

Rafael.

AGRADEZCO A LA VIDA POR BRINDARME MOMENTOS DE TRIUNFOS Y DERROTAS DE LOS CUALES HE GOZADO AL MÁXIMO A CADA INSTANTE.

A MI MADRE.  
QUIEN, EN TODO MOMENTO ME HA APOYADO

A MIS HERMANOS  
BLANCA E., DONAJI F., ARTURO R. Y MARCO A.,  
LOS CUALES ME ALIENTAN PARA SEGUIR  
ADELANTE

A ROSITA, MI ESPOSA.  
PORQUE SIEMPRE HA ESTADO APOYÁNDOME A CADA  
INSTANTE Y PORQUE SU INFINITO AMOR ES LO MAS  
GRANDE QUE ME HA PASADO EN LA VIDA.

Arturo.



# INTRODUCCIÓN.

El desarrollo e investigación en ingeniería y otras disciplinas destinados a la construcción de maquinaria, siempre aporta a la industria alternativas que le permiten elegir alguna que se ajuste a la medida de sus necesidades. Estas alternativas generalmente son producto del interés y trabajo de personas con inquietudes de progreso.

Para llevar a cabo tales actividades estas personas siempre se basan en fenómenos existentes en los cuales se pretenden lograr mejoras desde los aspectos físicos hasta los operacionales con el fin de obtener elementos o dispositivos más eficientes de menor tamaño o de un costo de accesibilidad menor.

Este proyecto da principio en trabajos realizados anteriormente como, proyectos de tesis, a fin de implementar un dispositivo electromecánico que por medio de descargas eléctricas machine materiales metálicos de muy alta dureza o de formas complejas de manera relativamente sencilla.

El prototipo inicial, que da los lineamientos básicos de construcción de esta máquina fue elaborado con anterioridad, bajo un exhaustivo trabajo de investigación. Con el apoyo e inquietud de un grupo de investigadores se da continuidad a este trabajo con el título "Prototipo de una Máquina de Electroerosión Fase II", en el cual se pretende dar un enfoque global de cómo, dónde y porqué surge la Electroerosión, así como las técnicas de maquinado de metales, su evolución y hacia dónde se dirigen las nueva tendencias.

Se plantea también una semblanza de los sistemas existentes en el mercado, su comercialización y la forma en que se puede acceder dicha comercialización, las consultas y la adquisición de todo lo referente a este equipo en el ámbito comercial a nivel nacional e internacional. También se da un enfoque global de cómo opera una máquina de Electroerosión y las partes que la componen, dirige también la atención hacia un grupo específico de estas máquinas ya que el propósito es implementar una máquina erosionadora de tipo penetración.

Además en el tiempo de elaboración del presente documento se participó en actividades de campo en la iniciativa privada dando mantenimiento correctivo y preventivo a una máquina de Electroerosión con el fin de involucrarse y conocer más acerca de estas máquinas y con ello llegar a la posibilidad de mejorar el enfoque y desarrollo del presente trabajo. Así también, se implementa y unifica el diseño de elementos para la construcción del prototipo de una máquina de electroerosión, dónde se conjunta una serie de trabajos multidisciplinarios para la construcción del dispositivo antes mencionado; tales como el sistema generador de chispa y los elementos que lo controlan.

Se notará también que existen elementos especializados o de manufactura industrializada y de producción en serie dentro de los mismos módulos desde los aspectos del desarrollo teórico hasta la construcción física del módulo, lo que en hechos se verifica en la adición de un módulo de servo-control y servomando adquirido comercialmente. Todo esto y el desarrollo de otros sistemas a partir de los principios proporcionados por los trabajos precedentes, las investigaciones de campo y la creatividad, llevan a la posibilidad de la construcción de un dispositivo más capaz, versátil y con una vida útil evidente.

También, sugiere por experiencia un método de mantenimiento preventivo y correctivo a una máquina de Electroerosión debido a que cualquier tipo de maquinaria tiene una mejor operación y una mayor vida útil si se sujeta a un programa de verificación y mantenimiento. Al realizar un contacto con la industria, por medio de un acuerdo en un programa de Prácticas Profesionales, se obtuvieron numerosas razones para exponer este tema. Entre las razones más importantes se mencionan el conocer físicamente una máquina de Electroerosión, las alternativas industriales con las que el dispositivo cuenta, su forma de operación y distribución, capacidades, sistemas de seguridad, y algunos estándares, entre otras cosas. Lo anterior, con el fin de poder conjuntar y depurar la información y conocimiento con el que se contaba al iniciar el presente trabajo dándonos una dirección adecuada y objetiva para el desarrollo e implementación de la máquina.

Por último, se aportan las bases iniciales de la calidad a este dispositivo, abriendo un espacio a las *normas de seguridad en este tipo de máquinas*. Los conceptos planteados son muy generales pero permiten establecer las normas fundamentales y, con esto, dar paso a una mayor especialización de cada elemento. En resumen, se pretende desarrollar una máquina útil y competitiva, cumpliendo con los estándares establecidos para la operación y funcionalidad en máquinas de electroerosión.

# **1. MARCO TEORICO**

## **1.1 Mecanizado:**

**1.1.1 Mecanizado con arranque de viruta:**

**1.1.2 Mecanizado por abrasión.**

**1.1.3 Mecanizado ultrasónico:**

**1.1.4 Mecanizado térmico.**

**1.1.5 Nociones de Electroerosión**

## **1.2 Electroerosión**

**1.2.1 Surgimiento de la Electroerosión y su evolución.**

**1.2.2 ¿Qué es una máquina de Electroerosión?**

**1.2.3 Factores para la Electroerosión.**

## **1.3 Máquinas de Electroerosión comunes en la industria.**

**1.3.1 Métodos convencionales.**

**1.3.2 Métodos sofisticados.**

**1.3.3 Nuevas tendencias.**

## **1.4 Producción y desarrollo de Máquinas de Electroerosión.**

**1.4.1 En el ámbito nacional.**

**1.4.2 En el ámbito internacional.**

## **1.5 Fabricantes y distribuidores de máquinas de Electroerosión.**

## 1.1. Mecanizado:

El término mecanización se refiere a la elaboración de piezas de una configuración geométrica requerida, mediante el arranque de capas sobrantes. Los principales tipos de mecanización de metales son los siguientes<sup>1</sup>:

- Mecanizado por arranque de viruta.
- Mecanizado por abrasión.
- Mecanizado ultrasónico.
- Mecanizado térmico.
- Electromecanizado.

### 1.1.1. Mecanizado con arranque de viruta:

En el mecanizado por arranque de viruta, el metal de la pieza de trabajo a mecanizar se fuerza de modo intenso, exactamente delante del extremo cortante de una herramienta (figura 1.1.1.a) y, en estas condiciones, el metal arrancado se rompe de modo aproximadamente perpendicular a la cara de dicha herramienta, con formación de viruta. Esta viruta puede ser arrancada, cortada o continua, luego el metal fluye por la cara de la herramienta. El tipo de viruta discontinua o continua depende de la tenacidad del metal de la pieza en la que se trabaja. Los materiales frágiles, como la fundición y el bronce desprenden virutas discontinuas arrancadas en pequeñas piezas. Si el metal es tenaz, el tipo de viruta depende de la velocidad de aplicación de la herramienta: Las velocidades de corte reducidas producen virutas discontinuas, mientras que las velocidades de corte elevados originan virutas plásticas o continuas<sup>1</sup>.

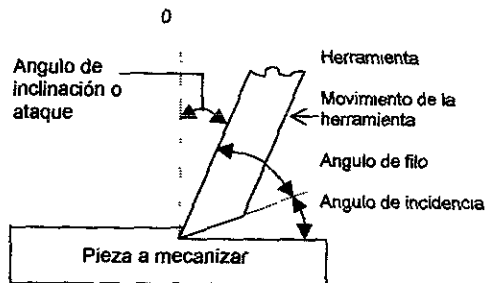


Figura 1.1.1.a Posición relativa de la herramienta de corte y la pieza a mecanizar.

<sup>1</sup> Pere Molera Solà: Electroerosión y mecanizado electroquímico, Ed. Marcombo: 1999.

Los principales procedimientos de mecanizado con arranque de viruta (figura 1.1.1.b) son: el aserrado, el taladrado, el torneado, el cepillado, el fresado.

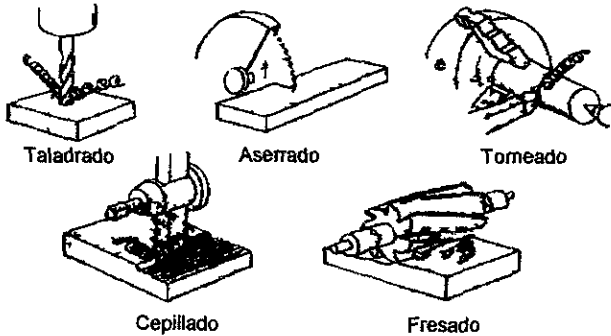


Figura 1.1.1.b Tipos de mecanizado con arranque de viruta: aserrado, taladrado, torneado, cepillado y fresado.

### 1.1.2. Mecanizado por abrasión.

El mecanizado por abrasión suele constituir en muchos procesos la última etapa de la transformación de metales. Se realiza como indica la figura 1.1.2.a, aplicando un abrasivo sobre la parte de la pieza a mecanizar. La eficiencia en eliminación de material en un proceso de mecanizado por abrasión, se determinará por la proporción de abrasivos que entre en contacto con la superficie de la pieza a trabajar, que tenga un ángulo de incidencia apropiado para el corte de la viruta<sup>2</sup>.

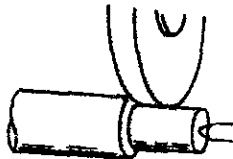


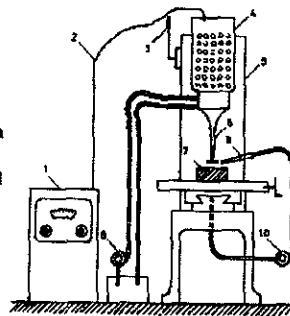
Figura 1.1.2.a Mecanizado por abrasión: esmerilado.

<sup>2</sup> IBID, pág. 10

### 1.1.3. Mecanizado ultrasónico.

El mecanizado por ultrasonidos consiste en que al alimentar una bobina de devanado, con una corriente alterna de 25 kHz (figura 1.1.1.a). El campo magnético alterno creado y continuo, actúa sobre el "magnetoestrictor" (láminas de níquel), y éste se alarga y se contrae 25,000 veces por segundo con una amplitud de 0,01 mm, emitiendo ondas ultrasónicas de igual frecuencia que la corriente alterna inicial.

1. Generador de corriente alterna
2. Alimentación del magnetoestrictor
3. Mando del avance
4. Cabezal
5. Soporte de columna
6. Broca de perfil exponencial
7. Pieza a taladrar
8. Boquilla inyectora
9. Bomba para circulación de agua para refrigeración
10. Bomba para circulación del abrasivo
11. Salida de agua de refrigeración
12. Imán permanente
13. Magnetoestrictor de laminas
14. Bobina
15. Soldadura de plata
16. Cono transmisor de Vibraciones
17. Soporte resonante
18. Entrada de refrigeración
19. Punta de perfil exponencial
20. Tornillo de fijación de la punta al cono



Detalle

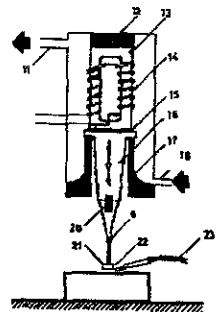


Figura 1.1.3.a Esquema de una taladradora ultrasónica donde se destaca el magnetoestrictor.

Las vibraciones del magnetoestrictor se transmiten al soporte resonante que, a su vez, las transmite a la herramienta a través de la fuente de perfil exponencial. Cuando la cabeza de la herramienta contacta con la superficie a mecanizar la somete con un martilleo de frecuencia ultrasónica y penetra en ella inyectando a su vez una capa de polvo abrasivo (carburo de silicio, óxido de aluminio, etc.), entre la herramienta y la pieza de trabajo, la penetración es más rápida porque las vibraciones producidas por el electroimán aceleran el desplazamiento de las partículas abrasivas y con esta el desgaste<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> IBID, pág 11

#### 1.1.4. Mecanizado térmico.

Los procedimientos de mecanizado térmico se caracterizan por la concentración de energía, en forma de calor, en una zona superficial de una pieza de trabajo, con lo que se consigue su fusión y evaporación. La energía de mecanización se suministra en forma de; calor (el soplete oxicorte, la pistola de plasma), de luz (de láser), o de bombardeo electrónico (el haz de electrones, ionización).

El oxicorte y el corte con pistola de plasma sirven para mecanizar pero no para rectificar, en cambio el corte mediante el láser y el haz de electrones se aplican para mecanizar con gran precisión<sup>4</sup>.

#### 1.1.5. Nociones de Electroerosión

En esencia, la electroerosión por penetración, consiste en colocar la **pieza** a mecanizar en una tina frente a un **electrodo** que tiene la "forma negativa" de la pieza deseada o del modelo. La pieza y el electrodo están conectados a un generador de corriente sumergidos en un líquido dieléctrico, la erosión sucede de forma selectiva, a una velocidad que es proporcional a la densidad de corriente inyectada en cada zona superficial, densidad que se estabiliza uniformemente a medida que la pieza a electromecanizar se acopla a la herramienta (figura 1.1.5a), es decir cuando adopta la forma deseada.<sup>1</sup>

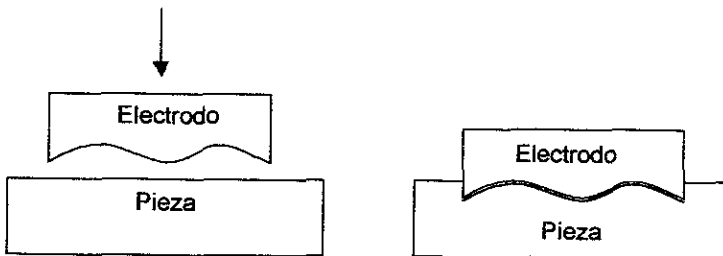


Figura 1.1.5.a Esquema de la impresión del electrodo en la pieza a mecanizar.

<sup>4</sup> IBID, pág. 14

## 1.2. Electroerosión

### 1.2.1. Surgimiento de la Electroerosión y su evolución.

A través de la historia y debido a una incesante transformación de los metales en herramientas, así como también, de una constante evolución y perfeccionamiento de los materiales, el hombre tuvo la necesidad de desarrollar equipo y maquinaria que pudiera competir ante tales cambios.

Habiendo descubierto los efectos erosivos de las descargas eléctricas lo llevaron a implementar equipos de electroerosión, que entre otras propiedades permiten remover pedazos de metal de herramientas de gran dureza que quedaban incrustados al romperse durante el maquinado convencional de metales y que no era posible removerlos o eliminarlos por los métodos existentes.

En el año de 1768 el físico Ingles Priestsley descubrió dichos efectos erosivos de las descargas eléctricas, y en 1943 se realiza la primera aplicación de la electroerosión, está aplicación se realizó en la antes Unión Soviética (U.R.S.S.) y la llevaron acabo los esposos B. y N. Lazarenko, al poner a punto, en el Instituto Técnico de Moscú, los primeros circuitos preparados para realizar trabajos de electroerosión y de esta forma ellos crean la primera Máquina de Descarga Eléctrica (MDE)

La primera máquina de descarga eléctrica constaba únicamente de una fuente de corriente directa para la producción de la chispa de trabajo, la cual era aplicada a una frecuencia de descarga no definida y esta descarga se aplicaba a la pieza de trabajo de manera constante, provocando la fusión y evaporación del material de la pieza de trabajo. El material del electrodo era fabricado de cualquier material maleable y buen conductor eléctrico.

En 1950 aparecen los generadores de relajamiento, que producían una señal de corriente directa la cual por medio de la carga y descarga de un banco de capacitores era entregada, con una cierta frecuencia de trabajo e intervalos de pausa, produciendo aceptables velocidades de remoción y buenos acabados. Se utilizaba un fluido dieléctrico que funcionaba como medio para que condujera la corriente eléctrica que se hace presente cuando la distancia de la herramienta a la pieza de trabajo es suficientemente corta para producir un arco eléctrico, la diferencia de potencial rompe la rigidez dieléctrica del fluido.

En 1964 aparecen los generadores rotatorios de impulso que proporcionan señales de alta frecuencia y la posibilidad de regular los intervalos y las pausas de descarga, contribuyendo a mejores condiciones de trabajo y mejores acabados.



Conforme a transcurrido el tiempo, la máquina de descarga eléctrica a adquirido mejoras en cuanto a sus capacidades, entre ellas el movimiento del cabezal el cual, en primera instancia era manual, progresando evolutivamente hasta llegar a ser servomecanismos automáticos, así mismo la aparición de elementos de estado sólido y el avance en el desarrollo tecnológico, ha permitido la reducción del tamaño y volumen de los dispositivos principalmente los de control y mecánicos dando lugar a dispositivos de menores dimensiones y mayor capacidad que operan de forma programada<sup>5</sup>.

### 1.2.2. ¿Qué es una máquina de Electroerosión?

Una Máquina de Descarga Eléctrica (MDE), también conocida como máquina de Electroerosión, es un arreglo electromecánico destinado al proceso de manufactura de metales para transformarlos en herramientas útiles por medio de descargas eléctricas controladas, entregadas un generador eléctrico. En general una máquina de Electroerosión es un dispositivo que transforma un material metálico conductor en un molde o herramienta útil para diversos usos, se puede decir que nos permite reproducir fácil y fielmente una diversidad amplia de artículos con un alto ahorro de energía, tiempo y recursos, tiene la función de eliminar partículas del cuerpo de una pieza eléctricamente conductora de forma controlada, por medio de la descarga de una chispa eléctrica moderada en potencia y cantidad, además mediante un fluido aislante que mejora dichas condiciones, principalmente la incidencia de descarga en el punto deseado, limpia y refrigera la pieza y herramienta de trabajo,

Se les conoce también como; Máquinas de Erosión por Chispa (MEC), Electrical Discharge Machine (EDM), ó Spark Erosion Machines (SEM).

Los sistemas que integran la máquina de Electroerosión son cuatro, y estos son:

- Sistema de descarga eléctrica.
- Sistema de desplazamiento de la herramienta.
- Sistema de circulación y bombeo del dieléctrico.
- Sistema de control.

Estos dispositivos en conjunto funcionan como un generador de impulsos, que describiremos de acuerdo al diagrama de la figura 1.1.2.a.

---

<sup>5</sup>Chavez del Valle Profinó. Diseño y fabricación del prototipo de un equipo para maquinado de metales por descarga eléctrica  
Tesis. 1992. ENEP Aragón

- 1.- Multibivrador.
- 2.- Relación Impulso/pausa.
- 3.- Amplificador de salida.
- 4.- Estación final.
- 5.- Servoamplificador.
- 6.- Amplificador diferencial.
- 7.- Vibrador automático.
- 8.- Servomando.
- 9.- Servomotor.
- 10.- Electrodo.
- 11.- Pieza de trabajo.

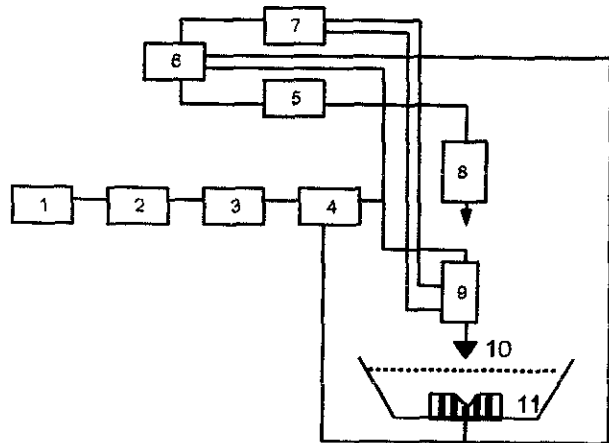


Figura 1.2.2.a Diagrama a bloques de un generador de impulsos

Esta compuesto por una fuente de corriente continua conocida como amplificador diferencial (6), que satura los electrodos (10 y 11), por medio de un sistema controlador de parámetros (1, 2, 3 y 4), mediante un servoamplificador (5), se le proporciona potencia al servomotor (9) que en conjunto con el servomando (8) se encarga de dar movimiento al electrodo(10), la penetración de la herramienta incrementa su eficiencia y facilita la limpieza si el vibrador electromecánico(7), de baja frecuencia (50 a 100 Hz), actúa paralelamente<sup>6</sup>.

### 1.2.3. Factores para la Electroerosión.

Se definen dos tipos de factores que influyen en el fenómeno de la electroerosión los cuales son, los factores físicos y los factores operacionales.

Aquellos que repercuten en los procedimientos electroerosivos relacionados con la pieza de trabajo, con el electrodo, con él liquido dieléctrico y con las condiciones de trabajo de la máquina, a saber: temperatura, humedad, resistencia del medio, etc. Representaran los factores físicos. Las condiciones de funcionamiento de la máquina de Electroerosión constituyen los factores operacionales y se consideran los siguientes:

<sup>6</sup> AGIE: Operatin Instructions: Agitron Spark Erosion Machines: Types AA, AB, AB-GT, AC, | series33| AG für industrielle Electronik: Losone-Lorciano (093) 23461 Agieba Locarno 59253 Losone. Functional plan for generator. Circuit diagram. (1966,1967,197,1975).

El voltaje aplicado y la intensidad de corriente que circula por los electrodos, definen la energía de la máquina para su trabajo, que se hace presente en la cantidad de chispas a producir, y son las causantes de la electroerosión, estos factores definen la potencia de la máquina. La forma en que se suministra o se entregan los factores anteriores, con respecto al tiempo son condicionados por la Frecuencia de trabajo.

El gap o la distancia entre el electrodo y la pieza de trabajo, también influye considerablemente en el efecto de Electroerosión, este factor esta en función de la diferencia de potencial y la corriente, determinados por la selección de los conmutadores de control de la máquina.

El flujo del liquido dieléctrico, debido a la presión de entrada y de salida proporcionados por la bomba principal y las válvulas, contribuye a la eliminación de las partículas metálicas procedentes del mecanizado de la pieza, a la eliminación del calor y a mejorar las condiciones si es el caso para la ionización.

Estos factores citados definen la capacidad de arranque de material de la pieza y el desgaste del electrodo en cualquier procedimiento de electroerosión.

### 1.3. Máquinas de Electroerosión comunes en la industria.

Para poder ubicar correctamente a estas máquinas se clasifican en dos grandes grupos, que son: las de reproducción de formas y las de rectificación y/o acabado. En esta clasificación encontramos que básicamente existen tres tipos de máquinas electroerosivas, que son:

- Las de electrodo o penetración
- Las de hilo o filamento alámbrico
- De disco giratorio

#### 1.3.1. Métodos convencionales.

Estos métodos son aquellos que se usan comúnmente en la industria para la transformación de metales, principalmente abarcan los tipos definidos anteriormente, considerando características físicas y construcción, es decir el tamaño de la máquina, su forma de operación y la distribución de sus componentes, además las máquinas de descarga eléctrica tienen características particulares basándose en la aplicación o trabajo al que estén destinadas, existen implementados diversos arreglos de dispositivos MDE para satisfacer diferentes necesidades de maquinado.

Basándose en su aplicación se clasifican en dispositivos de:

**Corte;** los cuales emplean tres diferentes tipos de maquinado.

- de hilo
- de cuchilla
- de disco giratorio

**Rectificación;** que son.

- de rodillos
- de discos giratorios

El rectificado por descarga eléctrica es semejante al maquinado por descarga eléctrica, pero con la excepción que en el rectificado el electrodo es giratorio. El rectificado por descarga eléctrica quita material por medio de descargas eléctricas rápidas y repetidas entre el electrodo y la pieza (fig. 1.9). El electrodo, que con frecuencia es de grafito, suministra corriente directa de 80 a 100 V, una densidad de corriente de 0.5 a 200 A, y gira entre 100 y 160 rpm. Como en el proceso de maquinado por descarga eléctrica, un aceite dieléctrico retira las partículas diminutas de metal que hay entre el electrodo y la pieza, evitando cortocircuitos.

El rectificado por descarga eléctrica se usa para pulir materiales duros en herramientas de corte, como por ejemplo carburo y acero de alta velocidad, para

herramientas de forma. Las partes quebradizas o frágiles se pueden maquinar mediante este proceso, mientras que el rectificado con abrasivos puede provocar roturas debidas a las fuerzas de corte que se desarrollan. Otra aplicación del rectificado por descarga eléctrica es el trabajo de secciones delgadas en las piezas. El rectificado abrasivo tradicional con frecuencia origina mucha distorsión en las partes con secciones o paredes delgadas. Muchas partes de motores de chorro se fabrican o reacondicionan con rectificado por descarga eléctrica.

Otra característica particular en las máquinas de electroerosión, es el tipo de **generador** para la descarga eléctrica que emplean, es decir el tipo de suministro eléctrico con el cual efectúan su trabajo, estos son las de:

- Corriente Directa
- Corriente Alterna

También, basándose en el **trabajo** que realizan se catalogan de diferentes formas que dependen de una serie de aspectos a considerar, tales como, el volumen de producción, las tolerancias dimensionales, el tamaño de la pieza de trabajo, el tamaño de electrodo necesario, la potencia de la máquina, entre otros.

En cuanto a sus **características físicas**, estos dispositivos cuentan con estructuras combinadas basándose en su aplicación que se les disponga, generalmente son arreglos electromecánicos, impulsados básicamente con motores eléctricos con arreglos de engranes y bandas que permiten su manejo a velocidades muy adecuadas, por otra parte existen dispositivos que cuentan con arreglos hidráulicos que reducen considerablemente el consumo de energía, vibraciones mecánicas, volumen dimensional, entre otras características, e incrementan su eficiencia y capacidad.

Es de tomarse en cuenta que el trabajo a que se destina el dispositivo, determina su tamaño y su capacidad, dando lugar a la existencia de dispositivos fijos (workstation), semi portátiles y portátiles.

La diversidad de dispositivos en el mercado también depende de sus capacidades de producción y esta depende de dos factores:

- El volumen de producción
- El acabado del producto

Cabe mencionar que estos dispositivos cuentan con una capacidad de producción alta y capacidad de acabado fino.

**Las de electrodo o penetración.** En estas máquinas la pieza adopta la forma del electrodo que es el negativo de lo que se desea hacer (figura 1.3.1.a), aun teniendo formas complejas, donde la herramienta se opera normalmente en un solo eje (vertical), es el más utilizado, pertenece al grupo de la reproducción de formas generando orificios pasantes de sección constante o cavidades tridimensionales.

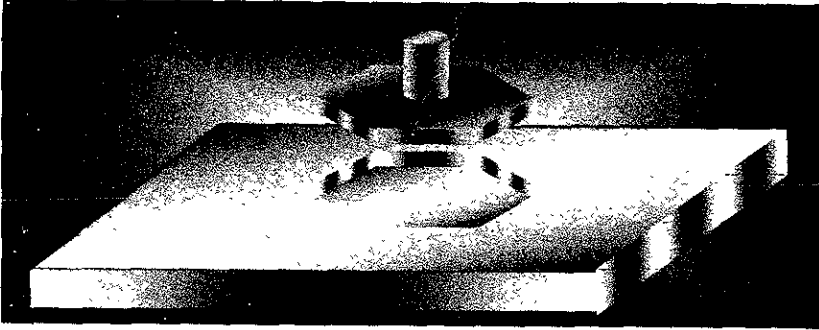


Figura 1.3.1.a Detalle de penetración en maquinado de metales.

**Las de hilo o filamento alámbrico.** Es un dispositivo que trabaja bajo el mismo principio solo que el electrodo es un filamento que gira o avanza en una guía, la cual se puede posicionar como se desee (figura 1.3.1.b). Durante el maquinado la pieza es cortada por este filamento (hilo metálico o alambre giratorio), con la capacidad de desplazamiento en tres dimensiones y con variación de los ángulos de corte, requerido para trabajos de gran precisión, formas de calado especial y textura fina, este tipo de máquinas se puede ubicar en los dos grupos debido a su versatilidad.

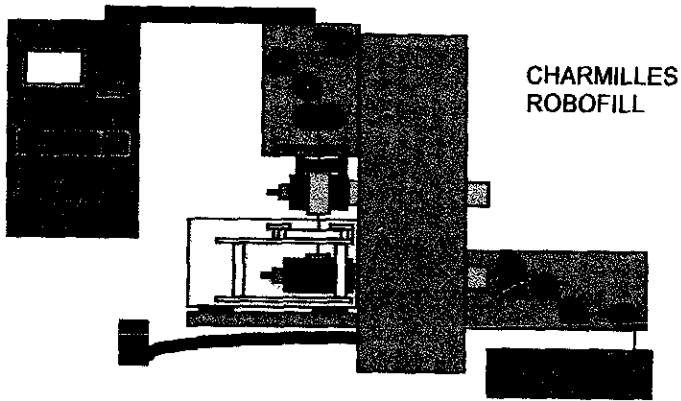


Figura 1.3.1.b Máquina Electroerosionadora de filamento alámbrico.

**De disco giratorio.** Emplean un plato rotatorio que elimina partículas al desplazarse en tres dimensiones, cuya velocidad no depende del desplazamiento, ideal como rectificador en diferentes fases y cortes (figura 1.3.1.c), también funcionan bajo el mismo principio.

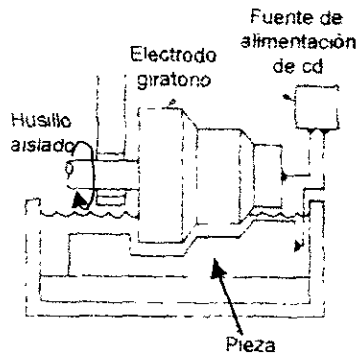


Figura 1.3.1.c Detalle de acabado de una máquina de disco giratorio.

### 1.3.2. Métodos sofisticados.

Los métodos sofisticados consisten en arreglos diversos de máquinas electroerosionadoras que estarán sujetas a las necesidades de la industria donde se han de aplicar, con el fin de satisfacer las necesidades de las mismas, mencionaremos algunos de los diversos arreglos que existen en el mercado industrial.

**MDE de filamento alambriico (Wire MDE).** Consiste en una plataforma deslizable, donde el electrodo (filamento) asciende o desciende basándose en un programa establecido.

**Centros de perforación MDE (Drill Centers).** Centros avanzados de grabado/perforado/marcado que proveen de alto desempeño y confiabilidad. Existen robotizados de gran potencia, fácil uso y control, de doble paleta para trabajo simultaneo que permite reducir los tiempos de producción.

**Centros de maquinado Twin-Spindle.** Modelos de alta eficiencia de doble filamento giratorio de plataforma o sin ella.

**Nakamura-Tome MDE.** Una diversificada línea de centros de torneado que ofrecen alto desempeño y versatilidad, con extras tales como capacidad de grabado, dobles torres y robótica.

**MDE de alta precisión de GAP totalmente sumergido** con una velocidad superior a las 28 pulgadas/hr y remociones de 4 millonésimas de pulgada, Fanuc Serie 0C y Fanuc Serie 1C.

Lo anterior depende de las características que los fabricantes ofrecen al mercado y esto repercute en forma perceptible en el costo de los dispositivos.

### 1.3.3. Nuevas tendencias.

Las nuevas técnicas quieren llevar al perfeccionamiento de la maquinaria de manera que sean más compactas, más capaces, de mayor eficiencia, pero principalmente que realicen su trabajo de forma autónoma con gran precisión. Como una particularidad que hoy en día se maneja dentro de los dispositivos servocontrolados, está presente la lógica difusa, como una herramienta de la robótica y sistemas computarizados permitiendo implementaciones de equipos más complejos y de mayor eficacia.



## **1.4. Producción y desarrollo de Máquinas de Electroerosión.**

### **1.4.1. En el ámbito nacional.**

La producción nacional de máquinas de Electroerosión, al igual que muchas otras máquinas y dispositivos, esta fuera de desarrollo. Limitado principalmente a la adquisición de estos artículos vía importación en tratos comerciales, en la totalidad de los dispositivos y sus refacciones, desde los países como Japón, Alemania, Italia, EE.UU., y España, entre otros.

Basándose en lo anterior se busca abrir el desarrollo de esta tecnología con la investigación y realización de proyectos, de forma tal que permita la creación y producción de una alternativa nacional y dando lugar esta situación a este proyecto de tesis en la ENEP Aragón.

### **1.4.2. En el ámbito internacional.**

Hoy en día contamos con un comercio internacional que permite hacer tratos comerciales en la mayor parte de los países, desde diversos puntos en el mundo, de empresa a empresa o de persona a persona, valiéndose del recurso que presenta la computadora y los sistemas multimedia, así como una biblioteca informática en el que podemos hacer consultas.

De esta forma y debido a los tratados internacionales de comercio, México puede adquirir de manera relativamente sencilla dispositivos, máquinas, consumibles, refacciones y lo relacionado por medio de un contacto informático, caso del Internet, que es una biblioteca computarizada de consulta pública que permite acceder a lugares muy remotos de forma muy sencilla, y la mayor parte de los problemas o consultas son solucionadas de un modo personalizado ya que su estructura nos permite hacer desde las consultas informativas simples, hasta la obtención de información técnica y compleja que sea referente a algún modelo, tipo de dispositivo o fenómeno relativo al área.

Para realizar una consulta al World Wide Web (WWW), por medio de una computadora se utilizan los métodos convencionales de búsqueda de información, contando con un sistema multimedia, y de entre los que existen mencionaremos al Infoseek, altavista, Yahoo, entre otros que son sistemas de localización y nos permiten navegar dentro de las páginas del Web de forma muy sencilla, los cuales al ser accedados nos proveen de un direccionamiento inmediato a las páginas de consulta, sea por tema, título, empresa, marca o específicamente, entre otras formas de acceso.

En nuestro caso la consulta sucederá al dirigirnos a: **EDM o ELECTROEROSIÓN**, que son dos páginas informativas en el Internet y proporcionan como ya fue mencionado todo lo necesario para consultas.

La consulta a la página EDM del Web, esta estructurada como a continuación se presenta, esta organización varía frecuentemente ya que la información se actualiza día a día, pero de forma genérica podemos decir que conserva esta estructura:

**Página Central de Máquinas de Descarga Eléctrica, (Electrical Discharge Machining Central).** Se maneja una presentación para consulta de páginas y temas en el contenido general del tema EDM así como una pequeña introducción para cada consulta, esta sección es como un directorio.

- **Las Máquinas de Electroerosión más Populares EDM (Most Popular EDM Machine).** Presenta dispositivos y maquinaria que podemos adquirir en el ámbito comercial por los principales fabricantes y distribuidores de productos EDM.
- **Catálogos en línea de suministros para maquinaria EDM (On line EDM Supply Catalog).** Muestra un catalogo comercial por fabricante y distribuidor de consumibles para máquinas herramientas relacionadas con EDM, esta presentación es personalizada y nos muestra los productos ordinarios así como los productos de vanguardia y las nuevas tecnologías.
- **Centros de trabajo EDM (EDM Job Shops).** Nos muestra e indica la forma de contactar a las personas e industrias relacionadas con los trabajos de Electroerosión.
- **Centros de trabajo de Todos Tipos (Job Shops All Types).** Muestra a los principales proveedores de servicios de trabajos de Electroerosión en la diversidad de máquinas existentes así como otros tipos de maquinado de metales.
- **Contactos específicos por Correo Electrónico sobre Máquinas de filamento Alámbrico EDM (Wire EDM Machine Specific Email Address Links).** Aquí nos relaciona con la mayoría de las empresas que cuentan con equipo EDM de filamento alámbrico dentro del WWW, donde podemos hacer consultas acerca de los temas relacionados con estas máquinas.
- **Contactos Específicos de Correo Electrónico de Grabadores EDM (Sinkers Specific Email Address Links coming soon).** Aquí nos enlazamos con las compañías que producen y trabajan específicamente con erosionadores que graban y realizan grabados, así también se pueden realizar consultas y asesorías técnicas.
- **Clases de capacitación y entrenamiento para equipo EDM (EDM Training Classes).** Obtenemos información acerca de cursos de manejo, uso, operación y mantenimiento de equipo EDM.

- **Compañías Abastecedoras de consumibles para equipo EDM (EDM Supply Companies)** Nos acerca a las compañías que proveen los productos consumibles de los equipos EDM tales como electrodos, dieléctricos, filtros, refacciones y varios, así como la información bibliográfica y todo tipo de consultas en línea.
- **Distribuidores de Máquinas Herramientas EDM (EDM Machine tools Dealers).** Nos permite acceder a los distribuidores de elementos y refacciones de dispositivos EDM, así como la forma de obtención de las máquinas en un trato comercial directo.
- **Máquinas Usadas EDM (Used EDM Machines).** Muestra el mercado mundial de dispositivos EDM usados, para su venta, el contacto y la forma en que se pueden adquirir y también la forma de cómo realizar la comercialización si fuera necesario.
- **Contactos para Máquinas Herramienta EDM (EDM Tool Links).** Nos relaciona dentro del W.W.W. con las personas e industrias que se encargan de la distribución, fabricación, y abastecimiento de herramientas y su uso para equipos EDM.
- **Contacto por Correo Electrónico con las Publicaciones Especificas de Dispositivos EDM (EDM Today Magazine Email Link).** Accesamos por medio de una dirección electrónica a revistas y publicaciones relacionadas con producto EDM, además de poder introducir información referente a los dispositivos si así se desea.
- **Publicaciones de Trabajo y Manufactura de Metales (Metalworking Digest)** Espacio dedicado para publicaciones y forma de adquisición de las mismas en el medio industrial.
- **Mercado de Manufactura (Manufacturing Marketplace).** Espacio dedicado a la comercialización de la manufactura de metales y su transformación en el ámbito.
- **Principales Sitios Alrededor del Mundo EDM (EDM Sites Around The World).** Nos muestra dentro del W.W.W. los lugares donde existe información, venta, comercialización, fabricación, etc. de equipo EDM en todo el mundo, ofrece también formas de lograr enlaces con los involucrados si así se desea.

## **1.5. Fabricantes y distribuidores de máquinas de Electroerosión.**

Existen en el mercado mundial diversas compañías que se dedican a la fabricación y diseño de las máquinas de Electroerosión, principalmente se conocen:

**MITSUBISHI EDM, MC Machinery Systems Inc.  
CHARMILLES TECHNOLOGIES CORP.  
PILLAR MEXICANA S.A. de C.V.  
AGIE.**

Estas empresas generalmente tienen al rededor del mundo representantes comerciales, como es el caso nuestro, por tanto, si se requiere comprar, adquirir equipo o consumibles, es necesario contactar vía telefónica o correo electrónico a las empresas que prestan estos servicios.

Dentro de estos medios existen distribuidores de refacciones, productos, consumibles, soporte técnico y todo lo relacionado con estas máquinas inclusive venta de equipo usado y refacciones discontinuadas.

A continuación nombramos algunas empresas que distribuyen refacciones y consumibles, que se pueden añadir a las anteriores que también distribuyen consumibles.

**KGK INTERNATIONAL CORP. Sodick EDM.  
POCO GRAPHITE INC. EDM.  
FANUC EDM Inc.**

## 2. GENERALIDADES

- 2.1. Principio físico.
- 2.2. Sistemas básicos y componentes de una máquina de Electroerosión.
  - 2.2.1. Sistema de descarga eléctrica.
  - 2.2.2. Sistema de avance de la herramienta.
  - 2.2.3. Sistema de circulación del dieléctrico.
  - 2.2.4. Sistema de Control.
- 2.3. Operación y Funcionamiento de una Máquina de Electroerosión por Penetración.
  - 2.3.1. Operación de una Máquina de Electroerosión (AGIE Plus, Generator K, 1969).
  - 2.3.2. Elementos de mando del generador y de la máquina.
  - 2.3.3. Dispositivos de control y seguridad.
  - 2.3.4. Control y puesta en servicio del generador.
  - 2.3.5. Puesta en marcha funcionamiento normal.
- 2.4. Máquina de Electroerosión por penetración prototipo I desarrollada en la ENEP Aragón.
  - 2.4.1. Características.
  - 2.4.2. Operación.
- 2.5. Recomendaciones para posibles mejoras y modificaciones al prototipo I.
  - 2.5.1. Recomendaciones Generales.
  - 2.5.2. Recomendaciones para la fuente de alimentación.
  - 2.5.3. Recomendaciones para el sistema de descarga eléctrica.
  - 2.5.4. Recomendaciones para el sistema de avance del electrodo.
  - 2.5.5. Recomendaciones para el sistema de circulación del dieléctrico.
- 2.6. Respuesta a las recomendaciones para el prototipo de electroerosión fase I.

## 2.1. Principio físico.

El mecanizado por descarga eléctrica se produce cuando la pieza de trabajo y la herramienta se colocan en posición adecuada sumergidas en líquido dieléctrico, dispuestas a ser sometidas a una tensión de descarga eléctrica disruptiva.

La herramienta y la pieza de trabajo están conectadas como electrodos con cables a un banco de capacitores alimentados por una fuente de corriente alterna o una fuente de corriente directa, según sea el caso, y la descarga ocurre cuando la diferencia de potencial es suficientemente alta para producir un arco eléctrico en la distancia que separa a los electrodos (GAP), usando como medio conductor al líquido dieléctrico, y esta descarga es moderada por un dispositivo de regulación en sus parámetros que son frecuencia, corriente y voltaje.

La erosión se inicia teniendo entre el dispositivo y la pieza de trabajo una distancia de centésimas de milímetro. Bajo la acción de un campo eléctrico, iones positivos y electrones van a encontrarse acelerados, constituyendo un canal ionizado y por tanto conductor, en esta fase de descarga la corriente es transformada en calor, si el electrodo mantiene una polaridad negativa, arroja partículas de carga negativa, las cuales chocan con partículas neutras alojadas en el dieléctrico, dividiéndose y formándose partículas de carga positiva y negativa, la cantidad de estos choques crece y se expande como una avalancha denominada ionización por choque, puentes de partículas conductoras forman este desarrollo; la fluidez de la corriente eléctrica aumenta hasta un valor máximo, eleva la presión y se incrementa la temperatura a un valor superior a los 5000 °C sobre el área donde salta la chispa.

Al obtener las partículas suficiente energía cinética, son arrancadas como producto de la fusión sobre-calentada, desarrollándose burbujas de gas como producto de la vaporización del metal produciendo en la pieza un cráter pequeño (erosión), al interrumpir el flujo de corriente eléctrica y con él las descargas, se produce una variación perceptible de temperatura que provoca la explosión de las burbujas proyectando el material al exterior del cráter solidificándose (escorias) y se remueve en el fluido dieléctrico, que es filtrado para ser nuevamente utilizado.

El efecto de Electroerosión es desgastante en los metales conductores y la duración del electrodo depende de la polaridad que se elija para trabajo además de la frecuencia de operación y los tiempos de pausa, para reducir el desgaste de la herramienta se elige que la polaridad permita un mayor calentamiento en la pieza de trabajo, es decir, pulsos cortos remueve más partículas negativas y pulsos largos remueve más partículas positivas, por lo tanto, en pulsos cortos la herramienta se conecta al polo negativo y en pulsos largos la herramienta tendrá polaridad positiva, es importante que se pueda conmutar la polaridad de los electrodos.

### 2.1.1. Factores que producen la Electroerosión.

La razón de remoción de material depende de los siguientes factores:

- La corriente promedio en el circuito, que es la energía necesaria para poder llevar a cabo la remoción de material.
- El espacio entre el electrodo y la pieza (GAP), que es la distancia física que separa los elementos.
- Las características del electrodo, que es el material con el que se elabora la herramienta, sean cobre, grafito, etc., así como su tamaño y forma.
- El poder aislante del dieléctrico, es la capacidad de permitir al fluido el paso de una corriente eléctrica.
- La frecuencia de descarga, que es el número de chispas por unidad de tiempo depositadas en la pieza de trabajo.
- Los tiempos de pausa, que es el tiempo en que la máquina permite la limpieza del área de trabajo, así como, la recarga de los capacitores.
- La dureza y resistencia del material de trabajo, son las características físicas y eléctricas de los materiales.

## 2.2. Sistemas básicos y componentes de una máquina de Electroerosión.

Todo dispositivo MDE esta compuesto básicamente por los siguientes sistemas que son:

- Sistema de descarga eléctrica
- Sistema de avance de la herramienta
- Sistema de circulación del dieléctrico

Donde también se le puede adecuar un cuarto sistema que es el de control, que modera automáticamente la operación de los tres sistemas anteriores, para comprender mejor la operación de cada sistema es necesario conocer su configuración y operación básica individual.

### 2.2.1. Sistema de descarga eléctrica.

El sistema de descarga eléctrica es el que proporciona la señal eléctrica con las características requeridas para efectuar la remoción del material (figura 2.2.1.a), es un circuito de regulación y rectificación eléctrico que transforma la corriente y voltaje de un nivel a otro nivel y/o frecuencia y dado el caso rectifica la señal para transformarla en una señal de corriente directa o continua, cuenta también con un circuito eléctrico electrónico que se encarga de conducir o interrumpir el flujo de corriente en los electrodos. La mayor parte de las máquinas de descarga eléctrica cuentan con dos tipos de suministro de descarga:

- El sistema de descarga de corriente directa
- El sistema de descarga de corriente alterna

Los componentes fundamentales del **sistema de descarga eléctrica de corriente directa** son:

- Rectificador de corriente
- Control de corriente
- Banco de capacitores
- Frecuencímetro
- Sensores de intensidad, voltaje y frecuencia.

**Operación.-** Inicialmente el puente rectificador convierte la corriente alterna de línea que entra, en corriente directa y la filtra para su descarga, esta corriente es entregada al control de corriente, que la regula en la cantidad de flujo así también controla la variación del voltaje de la señal que se va al banco de capacitores que almacena la energía para descargarla cuando se logra tener las condiciones adecuadas para la erosión y esta energía es medida por sensores que realimentan el sistema de monitoreo y control, el sistema de control es un elemento de



conmutación que permite elegir el tipo de corriente de uso, y actúa como un selector que mediante su configuración determina el número de tarjetas o transistores de potencia que serán empleados en el trabajo, es decir selecciona la cantidad de energía de uso determinando el número de elementos involucrados, después de este módulo la corriente es administrada por el frecuencímetro, que se encarga de modular y entregar un cierto número de impulsos por unidad de tiempo, usando los electrodos como medio transporte.

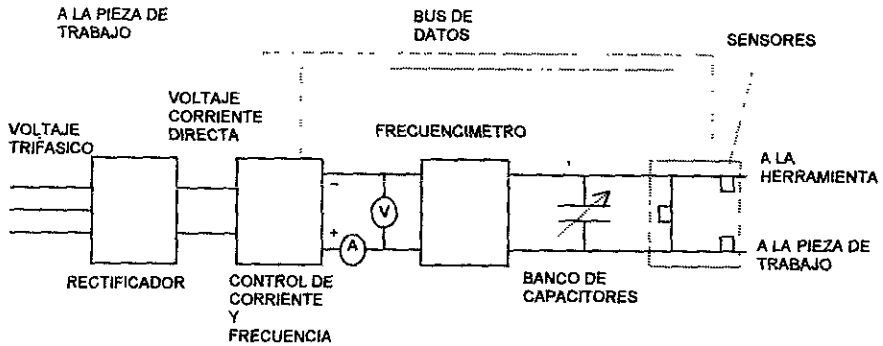


Figura 2.2.1.a Sistema de descarga eléctrica CD.

Los componentes fundamentales del sistema de **descarga eléctrica de corriente alterna** son (figura 2.2.1.b).

Convertidor de frecuencia  
Rectificador de selenio

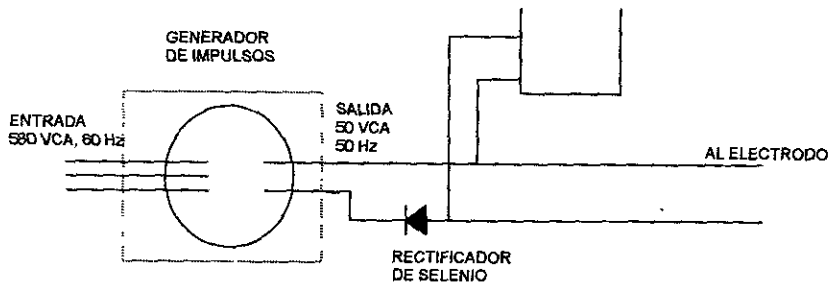


Figura 2.2.1.b Sistema de descarga eléctrica CA.

**Operación.-** El dispositivo que cuenta con un sistema de descarga eléctrica de corriente alterna esta compuesto por un convertidor de frecuencia, que es un dispositivo que incrementa la frecuencia eléctrica base y reduce el nivel de voltaje de corriente alterna de línea, dándole características necesarias para la Electroerosión, esto es que a una variación en el número de chispas por unidad de tiempo se puede efectuar una remoción de material de forma controlada con un ahorro de energía, esta señal elevada en frecuencia y reducida en voltaje se suministra a los electrodos por medio de un rectificador de selenio que permite el paso de la corriente actuando como interruptor en un solo sentido, esto es que al momento de descargar la chispa, el rectificador de selenio tiene una resistencia muy grande, dejando que la corriente llegue al punto deseado y no permite que la corriente suceda de retorno a la fuente de generación.

Los parámetros eléctricos tienen influencia directa en el acabado de la pieza de trabajo; así, al variar la frecuencia, actuará proporcionalmente con respecto a la cantidad de energía, esto es, que la energía se repartirá equitativamente en cuanto al número de pulsos o chispas por unidad de tiempo, si la corriente es de valor uno, y la frecuencia es de valor quinientos, la proporción por chispa será de 1/500, de forma tal que la intensidad de corriente actúa proporcionalmente basándose en la frecuencia, es decir siempre se removerá el mismo volumen de material no importando la cantidad de chispas por segundo, sino se varia la magnitud de la corriente. Por otra parte el voltaje influye en la magnitud del arco eléctrico que se hace presente en el gap, esto es que a mayor voltaje, mayor será la longitud del arco eléctrico y por consiguiente a menor voltaje será menor la longitud del arco eléctrico en el gap.

### **2.2.2. Sistema de avance de la herramienta.**

Es el que se encarga de moderar y controlar el movimiento del electrodo ascendente o descendientemente, para posicionarlo al inicio del proceso, poder efectuar el cambio de herramienta, mantenerlo en movimiento necesario durante el trabajo de erosión y retirarlo cuando sea necesario, sea limpieza o término de trabajo. Cuenta con tres tipos de desplazamiento que son el descenso con velocidad controlada, el micro avance descendente y el ascendente de velocidad constante, a definir:

**Descenso con velocidad controlada.** Es un movimiento con el propósito de acercar de forma rápida la herramienta de trabajo a una distancia adecuada con el fin de posicionar o calibrar la herramienta de trabajo, cuya velocidad aproximada es de 5 mm/seg.

**Micro avance descendente.** Este avance esta destinado a permitir un movimiento muy pequeño en el electrodo de forma controlada en lazo cerrado, mientras efectúa la operación de las descargas eléctricas con el fin de acercar la herramienta al área de trabajo y hacer una remoción adecuada del material y su velocidad puede ser de 5-10 micras/seg. **Movimiento**

**Ascendente de velocidad constante.** Este movimiento permite al dispositivo efectuar la limpieza con el fluido dieléctrico retirando la herramienta, también permite separar los electrodos cuando la máquina a finalizado su trabajo a una velocidad mayor que las anteriores que es aproximadamente de 5-10 mm/seg. Estas velocidades también están relacionadas con un control de tiempos en los cuales se sucederán la erosión y la limpieza, de acuerdo al material de la pieza de trabajo y al acabado que se requiera en dicha pieza.

### **2.2.3. Sistema de circulación del dieléctrico.**

Es el conjunto de elementos en combinación destinados a mantener las condiciones necesarias para el proceso de Electroerosión, dando movimiento a un fluido dieléctrico que limpia y refrigera el área de trabajo, se compone básicamente por una bomba, una tina de trabajo, un deposito de almacenamiento de fluido, válvulas, una red de tubos de distribución, además de un liquido dieléctrico, filtros y manómetros.

Al tener las condiciones mecánicas adecuadas para que inicie el proceso de electroerosión, se decide por las condiciones en las que se efectuará el trabajo que puede ser en un medio sumergido o bajo un chorro de dieléctrico a presión, en ambos casos una bomba de abastecimiento en conjunción con las válvulas actuaran de acuerdo a las condiciones establecidas por válvulas y reguladores, una manguera se pone directamente sobre el área de trabajo para que el chorro de dieléctrico incida a fin de mantenerla limpia y refrigerada, permitiendo que la rigidez dieléctrica y la temperatura sea la adecuada, independientemente de tener la tina llena o si esta únicamente con el chorro de dieléctrico, el dieléctrico es retirado por medio de una salida situada en la base de la tina, esta salida es regulada por válvulas llevando el dieléctrico al deposito principal en el cual se filtra y nuevamente se manda por medio de la bomba al área de trabajo.

El fluido dieléctrico sirve como agente aislante para el proceso de la descarga eléctrica, además refrigera y limpia la zona de trabajo, en el caso de la ionización sirve como canal de descarga eléctrica en un área muy reducida. La bomba proporciona movimiento al fluido dieléctrico para que pase por el filtro que libera al dieléctrico de residuos producto de la erosión, por medio de los ductos y las válvulas, esta impulsa al dieléctrico para que incida en el área de trabajo, manteniéndolo a baja temperatura.

#### **2.2.4. Sistema de Control.**

El sistema de control es un dispositivo fundamentalmente electrónico, que se encarga de relacionar y moderar las diferentes operaciones que una máquina de electroerosión puede efectuar, compete principalmente en retroalimentar y censar las condiciones de operación para darle continuidad a los procesos. Este sistema esta relacionado con todos los elementos, dispositivos y sistemas que integran la máquina de electroerosión tanto en lo físico como en lo eléctrico y electrónico moderando sus variables de operación basándose en las condiciones definidas por medio de selectores o un programa.

## 2.3. Operación y Funcionamiento de una Máquina de Electroerosión por Penetración.

### 2.3.1. Operación de una Máquina de Electroerosión (AGIE Plus, Generador K, 1969).

Un generador de impulsos AGIE Plus, opera como se describió en el capítulo anterior. En resumen, una fuente de corriente continua proporciona una señal a los electrodos, esta señal es entregada por medio de un conmutador que trabaja en sincronía a un multivibrador, y esta señal es limitada en sus parámetros por una serie de impedancias hasta un valor dado. Este dispositivo es ajustable en su frecuencia de operación, la cual permite variar el tipo de acabado en las piezas de trabajo obteniendo una rugosidad muy pequeña de hasta 7 micras en los orificios dejados por la chispa en metales duros, al activar el módulo de trabajo de acabado fino, este permitirá elegir una variedad de capacidades diferentes de acabado entre siete intensidades diferentes de potencia.

Esta máquina está constituida físicamente por dos muebles (figura 2.3.1.a), uno que contiene al generador y sus controles y otro que contiene al cabezal, al sistema de fluido y una serie de espacios para herramientas y accesorios. El mueble del generador cuenta con un tablero de control y monitoreo, sistema de enfriamiento, sistema de regulación, sistema de conmutación, sistema de almacenamiento de energía, sistema de control, sistema de servomando, sistema de seguridad, y un sistema de comunicación de potencia y control, el segundo mueble soporta al cabezal que está compuesto por el husillo, servomotor con lo necesario para el movimiento del cabezal, sistema de iluminación, sistema de calibración y fin de curso, tina de trabajo, mesa de coordenadas, sistema de fluido dieléctrico compuesto por bomba, ductos, válvulas, filtros y depósito de fluido. Estos muebles están comunicados por una serie de cables y buces para energizar, controlar o comunicar los sistemas de dicha máquina.

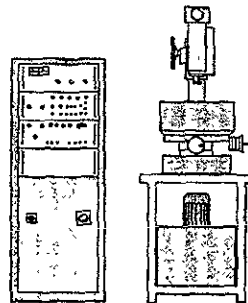


Figura 2.3.1.a Máquina de Electroerosión (AGIE Plus, Generador K, 1969).

### 2.3.2. Elementos de mando del generador y de la máquina.

De entre las características particulares de este tipo de generadores podemos nombrar las siguientes, que están relacionadas con otras características internas y especiales, cuenta con una serie de conmutadores en el panel del control (figura 2.3.2.a), que nos permite seleccionar las formas de operación, para obtener la mayor eficiencia del dispositivo basándose en las características del trabajo al que se le destinará, considerando material y potencia.

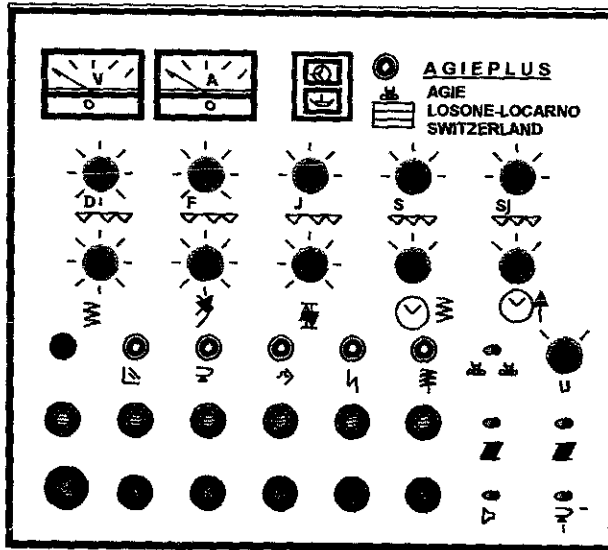


Figura 2.3.2.a Panel de control de la máquina AGIE plus.

El conmutador D, permite elegir el tiempo de duración de impulso en un cuadro de frecuencias, así como el tiempo de pausa en la operación.

El conmutador F, selecciona las frecuencias de desbaste de acuerdo con lo siguiente, desprendimiento importante de material con superficie rugosa y gran desgaste, de acabado previo que es un desprendimiento más bajo del material y superficie de acabado no muy rugosa, de acabado fino que es un desprendimiento muy bajo de material y superficie de muy baja rugosidad.

El conmutador J, permite variar la intensidad de la corriente que pasa por los electrodos, por medio de una selección de las tarjetas de potencia transistorizadas que se acoplan en paralelo, el montaje de los transistores se efectúa de uno a cinco en las placas de impresión, este conmutador trabaja en conjunto con unos

selectores de perilla que activan los transistores de potencia en cada una de las tarjetas de forma paralela, es decir J controla el número de tarjetas y las perillas el número de transistores por tarjeta.

El conmutador S, habilita a los dos circuitos de acabado el primero sirve para el desbaste rápido y acabado muy rugoso, mientras que el segundo sirve para el acabado fino de baja rugosidad el cual dispone de 6 fases de operación diferentes y 7 intensidades de corriente diferentes.

Conmutador de ajuste de la tensión de trabajo (avance automático del servomando); este potenciómetro forma parte integrante del amplificador diferencial que manda el avance automático del electrodo. Permite elegir la mejor tensión entre el electrodo y la pieza de trabajo, tensión que se puede leer en el voltímetro.

Conmutador del servo-amplificador, este permite variar la velocidad de avance descendente del electrodo que mantiene el espacio de chispa, reduciéndola cuando se utilizan electrodos muy finos y eventualmente para el acabado, así también la incrementa para el desbaste acelerado y la limpieza, su ajuste es importante, por que de acuerdo a los parámetros de voltaje y corriente se lograra la estabilidad de operación.

Conmutador vibrador, se utiliza principalmente cuando las condiciones de operación se revelan difíciles, la vibración facilita la circulación de líquido y la eliminación de los productos de la erosión, de la misma forma la vibración ayuda a lograr la estabilidad en el trabajo.

Conmutador de ajuste de amplitud; este actúa en paralelo con el vibrador variando la intensidad de la vibración, es imprescindible una vibración más o menos intensa, según las condiciones de enjuague y operación.

Conmutador de frecuencia de vibración; de la misma forma que el anterior actúa con el vibrador para seleccionar dos diferentes frecuencias basándose en las características de operación.

Conmutador vibrador automático; permite seleccionar, el uso del vibrador, manual o de operación constante y automática solo cuando exista un flujo de energía en el electrodo.

Conmutador timer; este selecciona el tiempo de operación y el tiempo de limpieza en la operación del generador, es decir existe un período en el cual la máquina trabaja de forma contante y otro cuando se torna necesario efectuar una limpieza del área de trabajo, cuando las condiciones de enjuague se presentan difíciles se aconseja levantar periódicamente el electrodo separándolo de la pieza de trabajo, así las materias corroídas pueden ser eliminadas, incluso en el maquinado de piezas con las formas más complicadas.

Circuito de mando, todos los circuitos de la máquina se activan cada vez al presionar el switch correspondiente, que activa el indicador luminoso, un contactor y un relevador, cuenta además de un elemento cortador de energía y un pulsador stop que al ser presionado, todos los circuitos conectados a este se apagan, cada generador esta compuesto de los circuitos de mando siguientes: Bomba principal, Bomba de aspiración, Amplificador de potencia, Corriente del electrodo, Servomando.

La corriente del electrodo y el servomando se activan solamente cuando el amplificador de potencia funciona, es decir si este último no opera, ninguno podrá ser activado, si se activa el amplificador de potencia y no esta activo el de la corriente en el electrodo el servomando funcionará solo que el suministro eléctrico del servomotor ocasionará que opere en forma ascendente.

El principal motivo por el cual se menciona lo anterior es, para poder plantear una idea organizada de como se debe controlar una máquina de Electroerosión y distribuir sus elementos de control, seguridad, monitoreo y operación en un tablero.

### 2.3.3. Dispositivos de control y seguridad.

La máquina cuenta con una serie de elementos que permiten detectar fallas o riesgos en los que se puede incurrir al momento de operarla, a continuación mencionaremos los más importantes y una breve descripción de cada caso, **control del nivel y temperatura**, censa la altura del líquido dieléctrico con respecto a el punto de trabajo el cual deberá permanecer 5 cm arriba de dicho punto, además también censa la temperatura del líquido dieléctrico que no debe de sobrepasar los 50 °C, al actuar en una falla este dispositivo un indicador se enciende e interrumpe la corriente del electrodo así como la operación del servomando, **control de los transistores** sirve para detectar si alguno de los transistores de las tarjetas de potencia se encuentra dañado, se ilumina un indicador en el panel del monitor y a los pocos segundos el generador queda fuera de servicio debido a que una señal desactiva al amplificador de potencia, **lampara indicadora de situación de trabajo**, nos muestra el estado de operación de la máquina paralelamente al voltímetro, a mayor tensión el indicador se iluminara intensamente, si esta débil o la máquina se encuentra en corto circuito, el indicador se apagara, cuando el funcionamiento de la máquina es normal y estable, la lampara se ilumina débilmente, al operar el circuito de acabado fino este indicador estará apagado, **contador de horas de funcionamiento** permite el registro aproximado de las horas de operación de la máquina, del generador, así como el tiempo de duración de un trabajo, la **bocina** facilita el montaje de los electrodos y la pieza de trabajo, indica con una señal acústica cuando el electrodo llego a un limite establecido, cuando la máquina se encuentra en corto circuito y también cuando finaliza su trabajo, la máquina cuenta con un sistema de **protección contra los contactos accidentales**, que es un dispositivo de seguridad que impide que al haber un contacto del usuario con el electrodo durante el trabajo de desbaste o con el elemento de acabado, una descarga eléctrica no deseada, el **control de corto-circuito** (anti-arco), es un



dispositivo que entra en acción cuando se produce un corto circuito entre los electrodos, cuando la máquina se encuentra en corto-circuito el dispositivo conecta y desconecta alternativamente la tensión hasta la ruptura eventual del arco, si estas puestas en corto circuito se repiten en el curso de desbaste se debe detener la operación de la máquina y verificar si no resiste en el espacio de trabajo escorias que deban de ser evacuadas inmediatamente, **dispositivo de control de fase**, cuando falta una fase de la red de alimentación o uno de los fusibles, el generador se desactiva automáticamente ya que tiene como fin el proteger a los mecanistores de la ausencia de una fase eléctrica, **interruptor de fin de curso** es un mecanismo que sirve para interrumpir la operación de la máquina cuando el electrodo a penetrado hasta la profundidad determinada por el ajuste del micrómetro o también cuando el posicionamiento de los electrodos no es adecuado.

#### 2.3.4. Control y puesta en servicio del generador.

Cuando operamos una máquina por primera vez o su operación es complicada se hace necesario siempre verificar aspectos de seguridad tales como procedimientos de arranque, parámetros de servicio, enlaces y conexiones de un dispositivo y otros aspectos que generalmente se ubican como uno de los primeros temas en un manual de operación, consideramos importante anotar estas sugerencias como parte de un manual de operación para la máquina que estamos desarrollando, lo dividimos en dos aspectos fundamentales reconocidos como control, el primero es el **control antes de la puesta en servicio** que nos da unos lineamientos necesarios antes de hacer funcionar la máquina por primera vez en el sitio en que se haya instalado, básicamente es un **procedimiento de verificación**.

- Verificar la tensión eléctrica de la red que debe corresponder (+/- 10%) a la tensión necesaria para abastecer al generador. Además todos los fusibles deben de estar comprobados que conducen.
- Las placas impresas deben de estar bien introducidas en sus guías y conectores, los números de las tarjetas y sus guías deben corresponder a la ranura en la que se encuentran.
- En el generador todas las conexiones deben de estar bien sujetas y corresponder de una a una.
- Los diversos cables de conexión entre el generador y la máquina, deben estar conectados adecuadamente según se indique en los diagramas.
- Comprobar que el interruptor de fin de curso no este activado o atascado.
- El motor de la bomba principal y eventualmente el motor de la bomba de aspiración deben de girar en el sentido indicado por la flecha. En el caso de que no fuera así, se recomienda invertir las dos fases en la barra de bornes correspondiente para corregir el problema.
- El palpador de control de temperatura y del nivel se conectara adecuadamente en el espacio que corresponda, así mismo el dispositivo de protección contra los contactos accidentales debe estar adecuadamente conectado.
- Control de verificación de las placas impresas o tarjetas de potencia.

- Tan pronto como se halla o detecta una placa defectuosa, se desconecta el generador y se espera por lo menos 10 minutos antes de extraerla.
- Se saca la placa de sus guías y contactos para buscar la presencia de contactos defectuosos o daño en el slot.
- Se comprueban primeramente la conducción en los fusibles de cada tarjeta.
- Si se presentan los fusibles intactos, utilizamos un multimetro, conectando el polo negativo del ohmímetro en la tierra (-) y se prueba con el polo positivo las salidas de los transistores, midiendo continuidad se detectara si existe algún corto circuito, de ser así se procederá al remplazo del elemento dañado.
- Se debe comprobar el sentido de rotación del servomotor del mando electromecánico, cuando esta bajo tensión el voltímetro indica tensión y el indicador se encuentra encendido, el desplazamiento será hacia abajo, si se corta la corriente del cabezal el desplazamiento será hacia arriba.

La verificación de pasos de seguridad como en cualquier máquina se deben de observar para el área de trabajo como pueden ser limpieza, libre de elementos ajenos a la operación del dispositivo, mantener los elementos y dispositivos de la máquina en óptimas condiciones de uso, el operador deberá contar con ropa y elementos adecuados para su protección y seguridad.

### **2.3.5. Puesta en marcha funcionamiento normal.**

Continuando con el subtema anterior el siguiente paso, después de haber observado los puntos básicos de seguridad de la máquina antes de encenderla se procede a realizar el encendido de los dispositivos para realizar un trabajo o prueba, siguiendo los pasos que a continuación se sugieren, considerando que el dispositivo no representa un riesgo latente.

- Poner el interruptor de encendido del generador en activo y verificar que el avisador acústico funcione.
- Realizar un ajuste, posicionamiento y calibración de los electrodos para iniciar la Electroerosión.
- Regular y ajustar el micrómetro del interruptor de fin de curso, a la profundidad de penetración requerida, considerando el desgaste que pueda presentarse.
- Ajustar el palpador de control de nivel y de la temperatura, a 4 cm aproximadamente por encima del nivel mínimo prescrito (GAP).
- Regular las válvulas de los conductos de enjuague del dieléctrico, si es posible a través del cuerpo del electrodo o bien alrededor del punto de trabajo, procurando tener suficiente presión ya que la distancia es muy pequeña.
- Posicionar el electrodo herramienta a una distancia de milímetros de la pieza de trabajo de forma manual para poder ahorrar tiempo y dar inicio al mecanizado.
- Llenar la tina de trabajo con el líquido dieléctrico, ajustando el nivel mínimo con la válvula de paso y el sensor de nivel.

- Ajustar los parámetros de operación de la máquina, regulando la duración del impulso D, la frecuencia F y la intensidad J, según las cotas inferiores correspondientes al tipo de material de herramienta y pieza de trabajo y de conformidad con las tablas.
- Activar el interruptor del amplificador de potencia y el interruptor del vibrador en posición "NORM", ajustar la intensidad de corriente a un valor medio.
- Activar el interruptor del electrodo bajo tensión. El voltímetro debe entonces indicar tensión y el indicador de trabajo de transistores.
- Activar el interruptor del el servomando en este momento inicia el desplazamiento del cabezal y el electrodo se mueve entonces hacia la pieza de trabajo e inicia el mecanizado por Electroerosión.
- Si es necesario regular la tensión de trabajo con el conmutador giratorio hasta lograr la estabilización del desplazamiento del electrodo y con esto de la operación de la máquina.

Lo anterior nos permite establecer un criterio común de operación en un sistema MDE a fin de reducir los riesgos y fallas en la operación de dichos sistemas, de la misma forma permite elaborar un manual de operación para nuestro dispositivo y establecer procedimientos de operación.

## **2.4. Máquina de Electroerosión por penetración prototipo I desarrollada en la ENEP Aragón.**

Es un prototipo de un dispositivo para maquinado de metales por descarga eléctrica, elaborado y desarrollado por un grupo de investigadores y tesisistas con el propósito de producir una máquina herramienta útil para la industria, este dispositivo permite la transformación de metales conductores de electricidad en moldes, herramientas, u objetos de uso, es desarrollado particularmente en el área de ingeniería mecánica y por ello esta sujeto a restricciones, sin embargo su principio y modelo proporcionan las características fundamentales de una máquina de descarga eléctrica (MDE), dando una dirección pauta a innovaciones y mejoras para nuevos prototipos. El objetivo principal en el desarrollo de esta tesis es la creación de un dispositivo para el maquinado de metales por medio de descargas eléctricas, valiéndose de técnicas y recursos nacionales. Para poder establecer los principios y características de dicho prototipo.

### **2.4.1. Características.**

Debido a la cantidad de información que aporta la tesis precedente elaboramos un resumen objetivo de las particularidades de la máquina y por tal motivo solo se harán descripciones en donde se considere necesario, buscamos definir de manera condensada todos aquellos puntos que no interesan. Las características de esta máquina las podemos dividir en dos grupos que son: las características eléctricas y las características mecánicas, y estas también se dividirán según se necesite basándose en el número de módulos que integren cada sistema.

- **Características eléctricas.**

Los parámetros eléctricos para el sistema de descarga eléctrica que se deben controlar son:

La corriente, que es de 0 a 10 Amperes, el voltaje 50 Volts corriente directa, estos parámetros se encuentran en función u operan con las siguientes variables: el tiempo de pulso y el tiempo de pausa, los cuales determinan la frecuencia de la descarga y la capacidad de la máquina, la frecuencia varía de 500 a 20000 pulsos por segundo, por consiguiente y basándose en lo establecido, el tiempo de pausa deberá ser de 10-20% de tiempo de pulso, lo que nos da un valor de 100 a 2000  $\mu$ s. en el tiempo de pausa, lo anterior nos lleva a determinar las características del multivibrador, cuyos valores se mostrarán en una tabla al final del tema.

Las características eléctricas para el sistema de avance del electrodo son las siguientes; el dispositivo es del tipo electromecánico de un motor de CD a 5 volts, con lo que se puede controlar más fácilmente en cuanto a velocidad y sentido de giro, la magnitud del gap puede variar de 5 micras a 45 micras. El dispositivo de

alimentación para el avance del electrodo cuenta con un voltaje de 127 VCA a la entrada y por medio de un circuito de regulación, rectificación y filtrado, entrega un voltaje de salida de 5 VCD con una capacidad de corriente de 1.5 amperes, en cuanto al sistema de control su consumo de potencia no es superior a 40 W, este sistema es alimentado paralelamente por el circuito de regulación antes mencionado.

Parámetros eléctricos para el sistema de circulación del dieléctrico. Debido a la pequeña capacidad de trabajo del dispositivo y cumpliendo mínimamente con lo necesario, se utilizó una bomba para líquido de 12V y 1.5 amperes, de un vehículo automotor con un arreglo de velocidad electrónico ajustable.

Basándose en los datos anteriores, se resume en la siguiente tabla, los rangos de los parámetros básicos del prototipo I del dispositivo MDE para su fuente de alimentación, así como algunas características particulares de su operación, considerando que no tiene una capacidad de consumo elevada, y cuenta con suministro de corriente alterna y suministro de corriente directa.

CONCEPTO	RANGO	UNIDADES
Voltaje de entrada	127	Vca.
Corriente de chispa	0-10	Amp.
Frecuencia de descarga	500-20000	Hz.
Tiempo de pausa	10 – 20 %	Tiempo de pulso
Tiempo de pulso	100-2000	µseg.
Voltaje del electrodo	50	Vcd.
Voltaje del motor del cabezal	5	Vcd.
Corriente del motor del cabezal	1.5	Amp.
Voltaje de la bomba del dieléctrico	12	Vcd.
Corriente de la bomba del dieléctrico	1.5	Amp.

Figura 2.4.1.a Tabulación de parámetros eléctricos de la fuente de alimentación.

#### 2.4.2. Operación.

La operación del prototipo I es básicamente manual, pues no cuenta con un dispositivo de control de avance del electrodo, el cual por razones obvias, en todos sus movimientos debe de ser automatizado. Por otra parte el montaje de las piezas de trabajo se hace sin que estas puedan sujetarse a un área de trabajo, lo cual provoca fallas al realizar la erosión de las piezas, debido al movimiento que ejerce el chorro de dieléctrico que incide en el área de trabajo.

La secuencia de operación de esta máquina es la siguiente; se coloca la pieza de trabajo en la tina del dieléctrico y el electrodo en el husillo del portaelectrodo, estos deben de alinearse correctamente, se coloca el interruptor general en posición de encendido "on" para obtener una diferencia de potencial entre la pieza de trabajo y el electrodo, se regulan los conmutadores de la corriente y frecuencia en los valores deseados, se acciona el conmutador de avance del electrodo en la posición 1 y presionando el interruptor (normalmente abierto), su movimiento será descendente hasta lograr que se forme un arco eléctrico entre el electrodo y la pieza de trabajo, cuando el conmutador esta en la posición 2, el movimiento será ascendente, lo cual permite que se realice la limpieza del área de trabajo; El chorro de dieléctrico se mantendrá en dirección del área de trabajo para mantener libre de residuos y productos de erosión dicho espacio. Logrando la operación básica del dispositivo de Electroerosión por el método de penetración.

## 2.5. Recomendaciones para posibles mejoras y modificaciones al prototipo I.

En este apartado únicamente se transcribieron los comentarios y sugerencias de los tesisistas que elaboraron el prototipo I, quedando a disposición de quien continuará con dicho trabajo, a fin de lograr un perfeccionamiento del dispositivo.

### 2.5.1. Recomendaciones Generales.

Es necesaria la participación de personal del área electrónica para hacer las modificaciones en el sistema de generación de la descarga eléctrica, así como para implementar un circuito electrónico de control para operar un sistema automático de avance para el porta electrodo. El equipo deberá rendir informes periódicos sobre el avance de los proyectos.

### 2.5.2. Recomendaciones para la fuente de alimentación.

El diseño de la fuente de alimentación dependerá del diseño de los tres sistemas que integren el nuevo prototipo del MDE.

Es necesario que la fuente de alimentación cuente con dispositivos e instrumentos de medición para controlar las magnitudes de los parámetros que suministran o requieren cada sistema.

### 2.5.3. Recomendaciones para el sistema de descarga eléctrica.

Incrementar la capacidad del dispositivo, es decir poder ampliar su rango en cuanto a voltajes, frecuencias y corrientes.

Voltaje	0-50 Volts.
Intensidad de corriente	0-25 Amp
Frecuencia de las descargas	500-100000 Hz.

Figura 2.5.3.a Tabulación de los rangos requeridos para el sistema de descarga eléctrica

### 2.5.4. Recomendaciones para el sistema de avance del electrodo.

El sistema deberá ser sustituido por otro que nos proporcione un mejor control del avance y con mayor estabilidad.

El sistema que se requiere implementar es un dispositivo que controle el avance en forma automática y sea accionado neumáticamente o hidráulicamente.

En forma somera podemos decir que un sistema automático de control de avance (figura 2.5.4.a), funciona retroalimentando una señal eléctrica (A) registrada en el GAP mediante un sensor y dependiendo de la magnitud de dicha señal eléctrica será el avance del electrodo, la señal registrada es convertida mediante un transductor en otra señal eléctrica (B) de determinadas características para que accione una servoválvula eléctrica que es la que controla el flujo de aceite que dará movimiento al cilindro actuador.

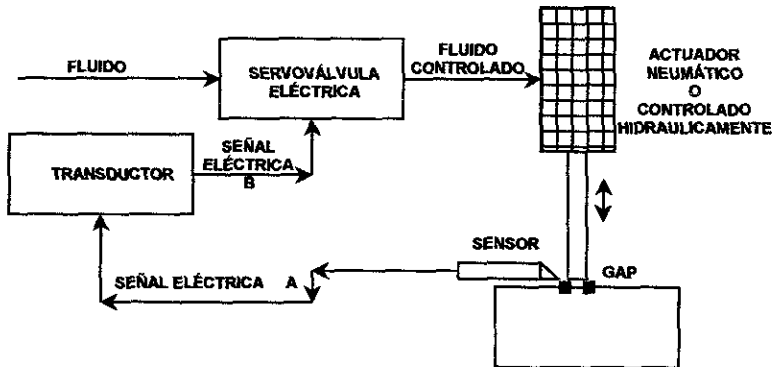


Figura 2.5.4.a Sistema automático de control de avance.

### 2.5.5. Recomendaciones para el sistema de circulación del dieléctrico.

El sistema de circulación del dieléctrico deberá ser reformado por completo utilizando componentes de mayor calidad y mayor capacidad que los usados en el prototipo I, se sugiere:

- Utilizar una bomba de caudal variable con una capacidad de presión de hasta 60 lb/pulg<sup>2</sup> o de 0 a 24 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Deberá contar con instrumentos de medición de presión para el flujo del dieléctrico.



## 2.6. Respuesta a las recomendaciones para el prototipo de electroerosión fase I.

Hacemos referencia, que al prototipo I de la máquina de Electroerosión, se le efectuaron algunos cambios en su estructura y operación, por medio de un programa de servicio social realizado por el alumno Arturo Valverde Merlín, bajo supervisión del Mtro. en Ingeniería Daniel Aidama Avalos, a manera de optimizar y dar una presentación más adecuada a dicho dispositivo.

Basándose en las recomendaciones para posibles mejoras y modificaciones al prototipo I, se procedió a realizar las siguientes:

### Generales:

La participación de Arturo Valverde Merlín en las mejoras y modificaciones del prototipo de Electroerosión I, se realizaron mediante un programa de servicio social en el período comprendido entre el 5 de junio al 5 de diciembre de 1997. El objetivo era mejorar las condiciones mecánicas y eléctricas del prototipo I, la primer actividad fue realizar un reporte general de las condiciones físicas y operacionales en que se encontraba el prototipo I, después se realizó un manual de procedimiento y un cronograma para resolver las fallas y problemas que fueron descritos en el reporte general de condiciones antes realizado, también se llevo a elaboró un listado que contenía el material necesario para efectuar el desarrollo de las mejoras y modificaciones del prototipo I. A continuación describimos las actividades que se realizaron y los resultados obtenidos.

- Trabajo realizado en la fuente de alimentación.

Lo que se realizó en este dispositivo fue el mejoramiento de la tarjeta impresa sobre las pistas conductoras en tablillas fenólicas reduciendo de esta forma las probabilidades de que pudiera existir un falso contacto o se quemara alguna línea conductora del circuito impreso de la fuente de alimentación, en este procedimiento se respeto el diagrama del circuito original de la tesis de Electroerosión prototipo I. Una vez elaborado el circuito impreso se montaron y se soldaron los componentes eléctricos y electrónicos, verificando por medición los parámetros de voltaje en los elementos, comprobando de esta forma que eran los adecuados.

Las recomendaciones hechas por los tesisistas del prototipo I, no se llevaron a cabo, debido a que se inicio con el desarrollo de este nuevo prototipo que es la fase II, sin embargo lo anterior aporta una mejora al dispositivo.

- Trabajo realizado en el sistema de descarga eléctrica.

Las actividades que se realizaron en este apartado fueron, la elaboración del circuito impreso de acuerdo al diagrama del circuito de descarga eléctrica de la tesis del prototipo I, también se efectuaron cambios en los parámetros de los elementos

eléctricos, la razón de esto es que una vez que estuvo terminado el circuito impreso y los elementos montados y soldados al operar los valores de voltaje y corriente no fueron los esperados razón por lo cual se tuvo que calcular nuevamente el valor de estos dispositivos eléctricos, una vez hecho esto se probó el circuito y se midieron los parámetros en esta ocasión los valores de voltaje y de corriente fueron los adecuados.

Después de finalizar las tareas en la fuente de alimentación y el circuito de descarga eléctrica, se procedió a continuar con el programa establecido en un principio. Se diseñó y construyó un mueble en el cual se montarían los dispositivos en conjunto, una vez que se tuvo listo el mueble se llevó a cabo el siguiente paso.

- Trabajo realizado en el sistema de avance del electrodo.

El sistema original de avance de electrodo estaba formado por un motor eléctrico acoplado a un tren de engranes y este a su vez a una cremallera que transmite el movimiento lineal al electrodo, el cual no existía por lo que se desarrolló y construyó un nuevo sistema con las características del sistema original, se cambió el circuito electrónico de control del motor, por otro electrónico también, solo que el nuevo cuenta con circuitos integrados, que reducen el tamaño y permiten un mejor manejo de variables. Por lo anterior y retomando las conclusiones hechas en la tesis precedente observamos que el sistema deberá ser sustituido por otro que nos proporcione un mejor control del avance mecánico, eléctrico y electrónico con una mayor estabilidad.

- Trabajo realizado en el sistema de circulación del dieléctrico.

El sistema de circulación del dieléctrico fue modificado por completo pues se realizó el diseño y fabricación de un impulsor de una bomba centrífuga, teniendo de base un motor de corriente directa el cual se controla con un circuito eléctrico, para variar la velocidad del motor y de esta forma poder variar el caudal de salida, también se llevó a cabo la fabricación del depósito de almacenamiento del dieléctrico con sus correspondientes etapas de sedimentación y filtración, también se construyó la tina de trabajo, en la cual se lleva a cabo la Electroerosión.

La construcción de una mesa, en la que se pudiera sujetar la pieza de trabajo, así como un panel de control en el cual se disponen todos los elementos de control del prototipo de Electroerosión y las carátulas de monitoreo.

Se recomienda contar con instrumentos de medición de presión para el flujo del dieléctrico. Así como un sistema de avance del electrodo más preciso, una sugerencia es un sistema hidráulico. También es necesario que la fuente de alimentación cuente con dispositivos e instrumentos de medición para controlar las magnitudes de los parámetros que requieren o suministran cada sistema.

En base a todas las observaciones anteriores así como todos los datos proporcionados por la investigación y condensación de la información sabemos que el desarrollo e implantación de un dispositivo para el maquinado de metales por medio de descargas eléctricas es factible siempre y cuando, cada uno de los sistemas y elementos que lo integren sean debidamente diseñados por personal que se especialice en algún área determinada para su diseño y construcción, toda la información que se genera a partir de una investigación bien estructurada, nos permite conformarla y hacerla útil, por otra parte el crecimiento de los medios de comunicación como herramientas de investigación ayudan a hacer que estas aportaciones sean más robustas y sustanciales, y por último, el apoyo a la investigación y un seguimiento a los proyectos de lugar a el desarrollo de tecnologías propias y de ser posible auténticas y originales.

### **3. PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE ELECTROEROSIÓN FASE II DESARROLLADA EN LA ENEP ARAGON.**

- 3.1. Generalidades
  - 3.1.1. Un paso a la calidad.
  - 3.1.2. ¿Que son la Normas de Operación Mexicanas?.
  - 3.1.3. Divisiones de las N.O.M.
  - 3.1.4. Las N.O.M. y el Desarrollo e Investigación.
  - 3.1.5. Áreas de las N.O.M. que nos conciernen.
  
- 3.2. Aspectos Mecánicos y Eléctricos del prototipo de una máquina de electroerosión "fase II".
  - 3.2.1. Módulo del sistema de la fuente de alimentación.
  - 3.2.2. Módulo del sistema del circuito de descarga eléctrica.
  - 3.2.3. Módulo del sistema servomando.
  - 3.2.4. Módulo de Sistema de Seguridad y Protección.
  - 3.2.5. Módulo del Sistema de Control.
  - 3.2.6. Módulo de la estructura.
  - 3.2.7. Módulo de la circulación del dieléctrico.
  - 3.2.8. Modulo del sistema del cabezal.
  - 3.2.9. Modulo de la mesa de coordenadas y tina de trabajo.
  
- 3.3. Implementación de Los Módulos en un sólo Sistema.
  - 3.3.1. Relación de señales y conexión de elementos de control.
  
- 3.4. Puesta en Marcha.
  - 3.4.1 Verificación de condiciones de Operación.
  - 3.4.2. Verificación de puntos de Seguridad.
  - 3.4.3. Recopilación de Datos.

### **3.1. Generalidades**

En este capítulo manejamos una propuesta para la adopción de métodos de calidad en términos de seguridad, las estructuramos a partir de su definición para poder seguirlos de manera lógica y ordenada, seleccionamos de entre las existentes las que nos pueden apoyar en el uso de los recursos básicos en el diseño. Además establecemos los principios básicos de especialización de los módulos dividiendo en dos aspectos los elementos que conforman esta máquina, tratamos de enfocar la información basándose en los aspectos y características de cada elemento, dispositivo o sistema que se trate, llevando una secuencia ordenada para el desarrollo e implementación de dichos sistemas, cumpliendo con las normas de seguridad establecidas en el ámbito nacional como internacional, basándonos en las que en este capítulo se proponen; Describiremos genéricamente los sistemas y sus elementos, los relacionaremos con los parámetros que se han definido y a partir de esto desarrollaremos la solución más adecuada para la implementación de cada módulo.

#### **3.1.1. Un paso a la calidad.**

Calidad es, la totalidad de partes y características de un producto o servicio que influyen en su habilidad de satisfacer necesidades declaradas o implícitas.

En pocas palabras, calidad significa, hacer las cosas bien y que satisfagan las necesidades de otras personas.

La calidad es un propósito conveniente.

Es satisfacer los requerimientos.

Es el producto diseñado y elaborado para cumplir con sus funciones de manera apropiada.

La calidad esta compuesta por una serie de normas y elementos que estructuran los medios para obtenerla.

Los sistemas son los fenómenos a los que se les puede aplicar la calidad, y también los sistemas son los recursos de la calidad.

Puede haber varias normas dentro de un mismo sistema, pueden ser entre otros: normas para materiales y componentes, la habilidad de los proveedores para entregar según requerimientos, conformidad con los requerimientos del producto. Todo ello debe estipularse en procedimientos e instalarse un sistema para su verificación.

Se necesita de un sistema de medición para cada proceso. También se necesitan pruebas y técnicas de medición y un sistema para probar y calibrar el equipo de pruebas en sí.

## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

### **El Control de Calidad es:**

1. Es un sistema de métodos de producción que económicamente genera bienes o servicios de calidad, acordes con los requisitos de los consumidores.
2. Practicar el Control de Calidad es desarrollar, diseñar, armar, manufacturar y mantener un producto de calidad que sea el más económico, el más útil y siempre satisfactorio para el consumidor.

De acuerdo con estas definiciones, podemos tomar en cuenta algunos puntos con respecto al control de calidad:

Hacemos control de calidad con el fin de producir artículos que satisfagan los requisitos de los consumidores. No se trata solo de cumplir una serie de normas o especificaciones nacionales. Esto no basta. Las normas internacionales tienen muchos defectos. Los consumidores no siempre estarán satisfechos con un producto que cumpla todas las normas. También se debe de tomar en cuenta que las exigencias de los consumidores varían de un tiempo a otro. Aún cuando se modifiquen las normas, éstas generalmente no se mantienen al día con los requisitos de los consumidores.

Se debe hacer hincapié en la orientación hacia el consumidor. Hasta ahora los productores y fabricantes han pensado que les hacen un favor a los consumidores vendiéndoles sus productos. A esto se le puede llamar "salida de productos". Una mejor idea, sería un "sistema de mercados", en el cual los requisitos del consumidor sean de primordial importancia, es decir, que los productores estudien las opiniones y requisitos de los consumidores y que los tengan en cuenta al diseñar, manufacturar y vender sus productos. Al desarrollar un nuevo producto, el fabricante debe prever los requisitos y las necesidades de los consumidores.

Por muy buena que sea la calidad, el producto no podrá satisfacer al cliente si el precio es excesivo. Es decir, no se puede definir la calidad sin tener en cuenta el precio. Esto cobra importancia al planear y diseñar la calidad. No puede haber control de calidad que haga caso omiso del precio, las utilidades y el control de costos.

### **El objetivo de la calidad requiere:**

1. Lograr un mejor ambiente de trabajo, el cual fomente la productividad.
2. Incrementar utilidades.
3. Incrementar la calidad de los productos.
4. Reducción de costos.
5. Obtener una mejor posición competitiva en los mercados.
6. Establecer un sistema comparativo logrando la participación en todos los campos.

## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

7. Satisfacer las necesidades del consumidor.
8. Ganar la confianza de los clientes y consumidores por medio de una garantía de calidad.
9. Fabricar los productos que los consumidores deseen y compren gustosos.

### **Estándares de calidad:**

Actualmente, existen muchas instituciones que se dedican a establecer estándares para la obtención de la calidad, entre ellas se encuentran:

ISO	International Standars Organization.
ANSI	American National Standars Institute.
NOM	Normas Oficiales Mexicanas.
IEEE	Institute Engineers Electrical Electronics
BSI	British Standar Institution
Y otras.	

Las arriba listadas son las siglas de diversas instituciones dedicadas al establecimiento de la calidad, para abreviar, nuestro interés se dirige a Normas de Operación Mexicanas (NOM).

#### **3.1.2. ¿Que son las normas de operación mexicanas?**

Las Normas Oficiales Mexicanas son regulaciones técnicas de observancia obligatoria expedidas por las dependencias competentes, conforme a las finalidades establecidas en el artículo 40 (Ley Federal sobre Metrología y Normalización), que establece reglas, especificaciones, atributos, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación, así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado o etiquetado y las que se refieran a su cumplimiento o aplicación.

La Ley Federal sobre Metrología y Normalización que está en vigor desde el 16 de julio de 1992, establece que corresponde a las dependencias de la administración pública federal, en su ámbito de competencia, constituir los Comités Consultivos Nacionales de Normalización (CCNN) para expedir Normas Oficiales Mexicanas (NOM), sobre productos, procesos, métodos, instalaciones, servicios o actividades, así como promover su aplicación y vigilar su cumplimiento.

#### **3.1.3. Divisiones de las N.O.M. (NOM CC).**

Las normas **NOM CC**, (Normas Oficiales Mexicanas – Control de Calidad), son los estándares para la calidad en México, y son equivalentes a las normas ISO (International Standar Organization), respectivamente:

- **NOM CC-2:** Guías de selección y uso de normas de Aseguramiento de Calidad.

## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

- **NOM CC-3:** Modelo para el Aseguramiento de Calidad en el diseño/desarrollo, producción, instalación y servicio.
- **NOM CC-4:** Modelo para el aseguramiento de Calidad en producción e instalación.
- **NOM CC-5:** Modelo para el aseguramiento de calidad en inspección y pruebas finales.
- **NOM CC-6:** Guías para la gestión de la calidad y elementos de sistemas de calidad.

**ISO** (International Standar Organization) son las iniciales de la Organización Internacional de Estandarización, tiene su sede en Ginebra, Suiza, integra a los organismos nacionales de normas de la Comunidad Europea y a más de 91 países incluyendo a México. **ISO 9000** es una serie de cinco normas internacionales sobre aseguramiento de calidad emitidas en 1987 por ISO y actualizadas en 1994, cuyo cumplimiento demuestra que una empresa aplica los principios de las normas como base de administración de su sistema de calidad. La serie es revisada por un comité cada 5 años para mantenerla actualizada de acuerdo al desarrollo y evolución de los sistemas de calidad mundiales.

La serie surgió de la necesidad mundial de desarrollar una norma única para la operación y administración de los sistemas de aseguramiento de calidad. En 1979 ISO integra un Comité Técnico conocido como TC 176 con el fin de realizar el documento, para 1987 ISO publica la serie ISO 9000 basada en la Norma Británica BS-5750 y en 1992 la Comunidad Europea la adopta con el nombre de EN 2900. La serie ISO 9000 está formada por cinco normas:

- ISO 9000: Guías para la selección y uso de la serie.
- ISO 9001: Modelo para empresas involucradas en diseño, producción, instalación y servicio.
- ISO 9002: Modelo de empresas que cuentan con producción e instalación.
- ISO 9003: Modelo para empresas relacionadas con inspección y pruebas afines.
- ISO 9004: Guías para la administración de la calidad, elementos del sistema de calidad y empresas prestadoras de servicios.

### **3.1.4. Las N.O.M. y el Desarrollo e Investigación.**

Las Normas de Operación Mexicanas son métodos establecidos por instituciones para regular los procesos industriales a fin de estandarizarlos, y con ello llegar a un control de calidad óptimo en la elaboración de productos y dispositivos, de esta forma las N.O.M. regulan cada paso en el diseño y habilitación de dispositivos con el fin de cumplir con los requerimientos mínimos de seguridad, operación, características físicas, etc. y garantizar con ello que dichos elementos cumplen adecuadamente las especificaciones y estándares internacionales.



## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

En cuanto al desarrollo e investigación o cualquier actividad que produzca o investigue sistemas, prototipos o fenómenos ocurre a la necesidad de implementar métodos, estructuras, procedimientos, que llevan a establecer estándares para obtener resultados óptimos, así como satisfacer necesidades de manera más efectiva, reduciendo los riesgos y probabilidades de error, por ello las Normas Oficiales Mexicanas proveen de herramientas y métodos ensayados y comprobados a las personas, agrupaciones o empresas, para poder satisfacer correctamente las necesidades de los demandantes.

### **3.1.5. Áreas de las N.O.M. que nos conciernen.**

De entre las normas emitidas por estas instituciones seleccionamos una parte importante que se refiere al diseño de equipo y maquinaria, su operación y su instalación, con esto pretendemos ajustar el ensamble de esta máquina bajo los estándares emitidos a fin de llegar a un producto de calidad y proporcionar una información debidamente amparada en la investigación. Es fundamental aclarar que el propósito inicial será dirigir la aplicación de la calidad sobre los sistemas de seguridad y su seguimiento, por otra parte pretender establecer en cada espacio que se trata en este documento los lineamientos de calidad darían lugar a un documento sumamente denso aunque muy informativo.

Las Normas Oficiales Mexicanas como ya se definió están clasificadas en áreas de especialización de las cuales tomaremos las siguientes:

- NOM CC-3: Modelo para el Aseguramiento de Calidad en el diseño/desarrollo, producción, instalación y servicio.
- NOM CC-5: Modelo para el aseguramiento de calidad en inspección y pruebas finales.
- ISO 9001: Modelo para empresas involucradas en diseño, producción, instalación y servicio.

De estas normas partimos para enfocar nuestra meta iniciando con las Normas Oficiales Mexicanas sobre Seguridad e Higiene, que nos darán los lineamientos necesarios para mantener el diseño de la máquina dentro de un parámetro de seguridad aceptable, éstas normas a su vez están clasificadas de la siguiente manera:

- Normas sobre Seguridad.
- Normas sobre Higiene.
- Normas sobre Organización del Trabajo.

Como nuestro propósito es establecer los métodos de operación, uso y diseño de **maquinaria** requerimos hablar de las normas sobre **seguridad** principalmente, ya que es parte importante de esta investigación y esta norma se subdivide en:

Normas Oficiales Mexicanas sobre Seguridad en:

Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

- Locales y Edificios.
- Materiales.
- Máquinas, Herramientas y Equipo.
- Combate contra Incendio.
- Instalaciones Eléctricas.
- Minas.

Enfocamos nuestro interés en las Normas Oficiales Mexicanas sobre Seguridad / Máquinas, Herramientas y Equipo, así como las Normas Oficiales Mexicanas sobre instalaciones Eléctricas. En la primer clasificación se encuentran las siguientes normas:

<b>NOM-004 STPS-1993</b>	F.P. 13/06/94 relativa a los sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria, equipos y accesorios en los centros de trabajo.
<b>NOM-017 STPS-1993</b>	F.P. 24/05/94 relativa al equipo de protección personal para los trabajadores en los centros de trabajo.
<b>NOM-023 STPS-1993</b>	F.P. 25/03/94 relativa a los elementos y dispositivos de seguridad de los equipos para izar en los centros de trabajo.
<b>NOM-026 STPS-1993</b>	F.P. 26/05/94 seguridad, colores y su aplicación
<b>NOM-027 STPS-1993</b>	F.P. 27/05/94 señales y avisos de seguridad e higiene.
<b>NOM-107 STPS-1994</b>	F.P. 12/01/96 prevención técnica de accidentes en máquinas y equipo que operan en lugar fijo-seguridad mecánica y térmica-terminología
<b>NOM-108 STPS-1994</b>	F.P. 16/01/96 prevención técnica de accidentes en máquinas equipos-diseño o adaptación de los sistemas y dispositivos de protección-riesgos en función de los movimientos mecánicos.
<b>NOM-109 STPS-1994</b>	F.P. 16/01/96 prevención técnica de accidentes en máquinas que operan en lugares fijos-protectores y dispositivos de seguridad-tipos y características
<b>NOM-110 STPS-1994</b>	F.P. 11/05/95 seguridad en máquinas-herramienta para taladro, fresado y mandrilado.
<b>NOM-111 STPS-1993</b>	F.P. 22/01/96 seguridad en las máquinas-herramienta denominadas máquinas de Electroerosión.
<b>NOM-112 STPS-1994</b>	F.P. 11/05/95 seguridad en las máquinas-herramienta denominadas roladoras, formadoras y curvadoras.
<b>NOM-122 STPS-1996</b>	F.P. 22/10/97 relativa a las condiciones de seguridad e higiene para el funcionamiento de los recipientes sujetos a presión y generadores de vapor o calderas que operen en los centros de trabajo.

Figura 3.1.5.a Clasificación de Normas Oficiales Mexicanas sobre Seguridad / Máquinas, Herramientas y Equipo.

## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

De las citas anteriores nos interesan las que a continuación se muestran debido a su contenido de información y regulación,

- **NOM-111/STPS-1994.**

Objetivo. Esta Norma Oficial Mexicana establece las características y/o condiciones de seguridad en la operación y mantenimiento de las máquinas-herramienta denominadas máquinas de Electroerosión, para prevención de riesgos de trabajo. La cual nos habla de los riesgos en:

- ⇒ Rotura o falla de los componentes.
- ⇒ Los protectores.
- ⇒ Relacionados con el control de la carrera.
- ⇒ Relacionados con los dispositivo y/o sistemas de mando.
- ⇒ Relacionados con los dispositivos y/o sistemas de control.
- ⇒ Relacionados con la fijación de electroerosionador.
- ⇒ Por falta de energía
- ⇒ Relacionados con el sistema eléctrico.
- ⇒ Por una deficiente iluminación.
- ⇒ Por caída del operador.
- ⇒ Por falta de información tecnológica.
- ⇒ Relacionados con la lubricación.
- ⇒ Relacionados con el suministro de aire.
- ⇒ Relacionados con los recipientes sujetos a presión.
- ⇒ Sistema indicador
- ⇒ Por la operación.
- ⇒ Por acumulación de manejo de desechos.
- ⇒ Por áreas obstruidas.
- ⇒ Por espacio de atrapamiento
- ⇒ Por protectores móviles
- ⇒ Por falta de señalamiento
- ⇒ Relacionados con el cambio de herramientas
- ⇒ Relacionados con el punto de operación.
- ⇒ Relacionados con el protector y dispositivo seleccionado e instalado.
- ⇒ Herramientas para alimentación manual.
- ⇒ Requerimientos adicionales de protección.
- ⇒ El mantenimiento.
- ⇒ Por lubricación inadecuada.
- ⇒ Seguimiento de las medidas preventivas indicadas en el manual de instalación y mantenimiento sobre el uso y manejo de los lubricantes.

## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

- **NOM-108/STPS-1994.**  
Objetivo: La presente Norma Oficial Mexicana establece los elementos y/o movimientos mecánicos, que por sus características y/o condiciones pueden ser factores de riesgo, con el propósito de tomar medidas para eliminar o reducir la magnitud y frecuencia de los riesgos de trabajo. Riesgos que pueden presentarse en función de los movimientos mecánicos de rotación, recíprocos y lineales, así como los combinados.
  
- **NOM-004-STPS-1994.**  
Objetivo: Establecer los sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo, para prevenir y proteger a los trabajadores contra los riesgos de trabajo. La presente NOM-STPS- se aplica en los centros de trabajo donde por la naturaleza de los procesos se emplee maquinaria, equipo y accesorios para la transmisión de energía mecánica. Marca los requerimientos para el patrón y el trabajador, además los requisitos de:
  - ⇒ Los dispositivos de seguridad y protección en las partes móviles de la maquinaria y equipo de transmisión mecánica.
  - ⇒ Los dispositivos de seguridad en el punto de operación.
  - ⇒ El equipo conectado eléctricamente a tierra.
  - ⇒ Bloqueo de energía para control de riesgos.
  
- **NOM-022-STPS-1993.** Relativa a las condiciones de seguridad en los centros de trabajo en donde la electricidad estática represente un riesgo. Objetivo: Establecer las medidas de seguridad para evitar los riesgos que se derivan por la generación de la electricidad estática. Esta NOM-STPS- se aplica en los centros de trabajo donde por la naturaleza de los procedimientos se empleen materiales, sustancias y equipo capaz de almacenar cargas eléctricas estáticas.
  - ⇒ Marca los requerimientos.
    - Para el patrón.
    - Para los trabajadores:
  - ⇒ Marca los requisitos.
    - De locales y edificios:
    - Maquinaria y equipo:
  - ⇒ Marca las especificaciones.
    - Para la selección de pararrayos
    - Para montaje.
    - Para instalación.

Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

- **NOM-017-STPS-1994.** Relativa al equipo de protección personal para los trabajadores en los centros de trabajo.  
Objetivo: Establecer los requerimientos de la selección y uso del equipo de protección personal para proteger al trabajador de los agentes del medio ambiente de trabajo que puedan alterar su salud y vida. Esta NOM-STPS-se aplica como medida de control personal en aquellas actividades laborales que por su naturaleza, los trabajadores estén expuestos a riesgos específicos.
  - ⇒ Marca los requerimientos:
    - Para el patrón:
    - Para el trabajador:
  - ⇒ Requisitos del equipo de protección personal.
  
- **NOM-026-STPS-1994.** Seguridad-Colores y su Aplicación.  
Objetivo: Esta Norma Oficial Mexicana, establece los colores que deben utilizarse en materia de medicina, seguridad e higiene, en los centros de trabajo. Se aplica en todos los Centros de Trabajo. No interfiere con otras normas o especificaciones aceptadas con respecto al uso del color y sus contrastes o forma de las indicaciones en la transportación marítima, fluvial, aérea, ferroviaria o por carretera.
  - ⇒ Clasificación.
  - ⇒ Especificaciones.
  - ⇒ Identificación del Color.
  - ⇒ Identificación del Color con su Contraste.
  
- **NOM-027-STPS-1994.** Señales y Avisos de Seguridad e Higiene. Las señales y avisos de seguridad e higiene son sistemas que proporcionan información específica, cuyo propósito es atraer la atención en forma rápida y provocar una reacción inmediata, advertir un peligro, indicar la ubicación de dispositivos y equipos de seguridad, promover hábitos y actitudes de seguridad e higiene en el centro de trabajo.  
Objetivo: Esta Norma Oficial Mexicana establece el código para elaborar señales y avisos de seguridad e higiene; así como las características y especificaciones que éstas deben cumplir. Se aplica a las señales y avisos de seguridad e higiene que deben emplearse en los centros de trabajo, de acuerdo con los casos que establece el Reglamento General de Seguridad e Higiene en el Trabajo, y no es aplicable a señales o avisos con iluminación propia. Definiciones:
  - ⇒ Color de seguridad.
  - ⇒ Color contrastante.
  - ⇒ Señal de seguridad e higiene.
  - ⇒ Aviso de seguridad e higiene.De las características de las señales y avisos tenemos:

Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

- ⇒ Código.
- ⇒ Avisos.
- ⇒ Dimensiones de las señales, símbolos y avisos.
- ⇒ Disposición de los colores de seguridad.
- ⇒ Iluminación.
- ⇒ Señales y símbolos específicos.

### 3.2. Aspectos mecánicos y eléctricos del prototipo de una máquina de electroerosión “fase II”.

Uno de los objetivos de la ingeniería es proporcionar a la sociedad herramientas o métodos que la civilización moderna requiere, por lo tanto, la ingeniería se transforma en el eslabón que une y convierte los objetos necesarios para el hombre. El mecanismo mediante el cual, una necesidad es convertida en un plan funcional y significativo, es llamado diseño, en otras palabras, diseño es la formulación del plan, esquema o método para trasladar una necesidad a un dispositivo que, funcionando satisfactoriamente cubra la necesidad original.<sup>1</sup>

Existe excelente y basta literatura concerniente al diseño y fabricación de máquinas, muy enfocadas a su producción en serie y comercialización, pero poco se ha escrito sobre el desarrollo de máquinas en universidades, y aun menos sobre el desarrollo de prototipos. La metodología del diseño se puede esquematizar en la figura 3.2.a.<sup>2</sup>

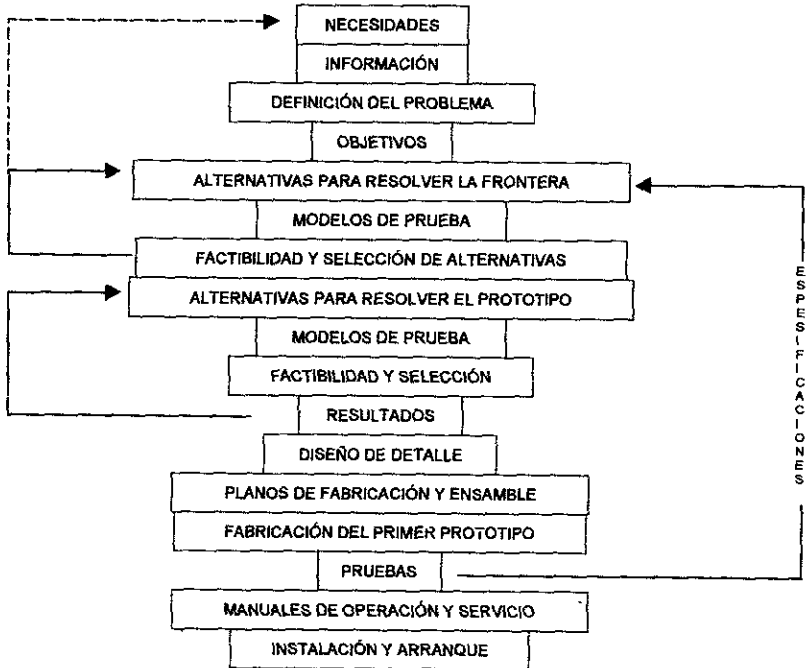


Figura 3.2.a Fases de diseño de prototipos

<sup>1</sup> Garza Cárdenas J.A. Diseño de máquinas teoría y práctica. Editorial Continental 1989.

<sup>2</sup> Alejandro Ramírez Rievich. Diseño y fabricación de una máquina canceladora. Tesis UNAM 1989.

## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

Tal vez la mejor manera de explicar el proceso ilustrado sea mediante su aplicación concreta a la solución de la problemática del desarrollo del prototipo. En el diseño de prototipos de máquinas el proceso de diseño adquiere una dinámica muy particular que lo hace ser, primordialmente iterativo y autocorrectivo. Es decir, que cada una de las etapas del proceso, en algunas ocasiones, la misma definición del problema está expuesta al cambio.

En lo que concierne al sistema mecánico, analizaremos las características de los diferentes módulos que integran la máquina, estos son: estructura, sistema de circulación del dieléctrico, mesa de coordenadas, tina de trabajo y sistema del cabezal, se analizarán de manera sistemática las diferentes propuestas, que para cada modulo se den, comparando las diferentes propiedades mecánicas de los materiales propuestos, así como las distintas formas geométricas, llevando a cabo los planos de fabricación correspondientes y realizando los manuales de operación y servicio.

En cuanto al aspecto eléctrico, tratamos todo lo concerniente a satisfacer las demandas eléctricas de cada uno de los módulos que integran esta máquina, analizando paso a paso cada concepto, por consiguiente se hará un calculo específico de las demandas de cada módulo, se encontrarán las analogías, las variaciones y características, llevándonos al final a determinar los parámetros generales. Una vez hecho esto, se harán los cálculos y propuestas necesarias para los sistemas de protección y seguridad así como los elementos que se requieran para implementarlos, de la misma forma se seguirá un método para establecer el tipo de visualización e indicadores para operar la máquina, y por último también utilizaremos una relación estructurada para la comunicación de las diferentes señales de control, datos y alimentación, respetando los parámetros de los estándares comerciales.

Debido a circunstancias no contempladas y fuera de nuestro alcance, el modulo de la fuente de alimentación y el módulo del sistema generador de chispa serán implementados a manera de adaptación de los que se usaron en la construcción del prototipo I, como sistemas propios de esta máquina, en general es una máquina que trabaja con voltaje y corriente directa sus parámetros de operación solo le permiten realizar trabajos de mediano tamaño debido a la capacidad de potencia con la que cuenta.

En los siguientes apartados definimos los sistemas que integran esta máquina de forma general dividiéndolos de la siguiente manera:

- Módulo del sistema de la fuente de alimentación.
- Módulo del sistema de descarga eléctrica.
- Módulo del sistema de servomando.
- Módulo del sistema de Seguridad y protección, eléctrico y mecánico.
- Módulo del sistema de control.
- Módulo del sistema de la estructura.



## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

Módulo de sistema de circulación del dieléctrico.

Módulo del sistema del cabezal.

Módulo del sistema del área de trabajo, (mesa de coordenadas y tina de trabajo).

Primeramente hacemos una descripción básica de las funciones que debe cumplir dentro de la operación de la máquina, se explican de manera objetiva las partes o elementos que la integran, que son, para que sirven y como funcionan, definimos las relaciones propias del sistema y por último se definen las relaciones con otros módulos.

### **3.2.1. Módulo del sistema de la fuente de alimentación.**

Es el que se encargara de abastecer los requerimientos eléctricos y de potencia de cada uno de los sistemas que integran la máquina (figura 3.2.a), cuenta con las características necesarias para poder satisfacer las demandas eléctricas para ajuste, calibración, desplazamiento, abastecimiento de todos y cada uno de los módulos que integran el dispositivo; es decir que por este módulo pasarán todas las demandas de energía eléctrica que requiera el dispositivo, el siguiente esquema muestra un diagrama a bloques de las partes y la relación funcional de una fuente de alimentación.

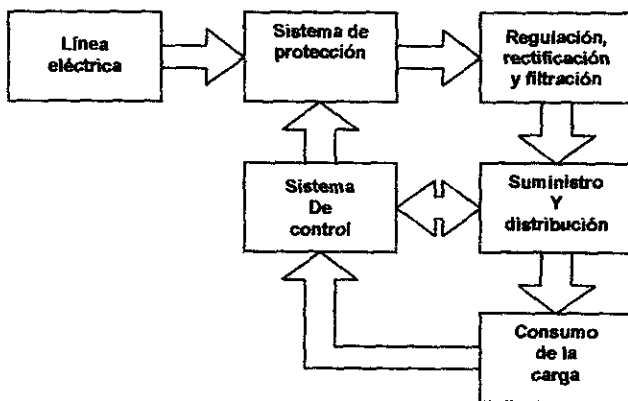


Figura 3.2.1.a Diagrama de bloques del sistema de la fuente de alimentación.

- **Línea eléctrica.**- Es la entrada física de voltaje y corriente provenientes de las líneas externas, ésta entrada está compuesta por un conector de zapatas necesario para soportar la potencia máxima de la máquina más un porcentaje extra mínimo del 60%, estas zapatas están unidas por un cable de calibre y aislante adecuado a los mismos parámetros de seguridad y por el otro extremo llagara a un conector o zapatas para ser distribuidos conforme a las necesidades de la máquina.

## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

Como los parámetros de la máquina son calculados para un voltaje de 220 Vca y una corriente de 10 Amperes, se sabe que tendrá 3 líneas de fase para trabajo con 127 Vca cada una, una línea de retorno, neutro o tierra eléctrica de mayor calibre así como una línea de tierra física con cable desnudo para garantizar la salida de fugas de corriente o fallas eléctricas. De lo anterior se deriva la tabla A, ubicada en el apéndice B.

- **Sistema de protección.**- Este módulo tiene como función hacer interrupciones o bloqueos de paso de corriente y voltaje así como de desviar a tierra los sobrevoltajes y sobrecorrientes que se presenten en el sistema principal de abastecimiento eléctrico (figura 3.2.1.b), está compuesto por una caja de cuchillas que servirán para cortar de forma manual-mecánica el suministro eléctrico, y en su interior existen fusibles de cartucho como conductores, uno para cada fase con la función de proteger las sobre-corrientes, la salida de este módulo esta conectado en serie con un arreglo de interruptores termomagnéticos, que tienen como función cortar por medio de un campo magnético o por la operación de un elemento bimetálico el paso de corriente y voltaje cuando son demandados sobre los parámetros deseados, por último este módulo llega a las placas de distribución que son una serie de buses metálicos que servirán como puntos de conexión y suministro para cada sistema de la máquina.

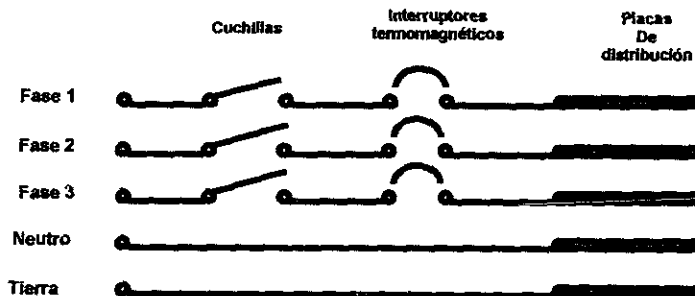


Figura 3.2.1.b Diagrama Trifilar de Conexión de línea Externa.

El voltaje existente entre las fases es de 220 Vca, el voltaje existente entre cualquier fase y el neutro o tierra física será de 120 Vca., por tanto la potencia total aproximada de la máquina con un consumo cercano a 18 Amps., es de 4500 watts.

El sistema de control esta relacionado con este sistema por medio de un monitoreo y conducción de fallas.

## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

- **Sistema de regulación, rectificación y filtración.**- El sistema de regulación se encarga de adaptar de una fuente de voltaje y corriente con parámetros de fase de 127 Vca. y corrientes superiores a 50 Amp., a un sistema que mantenga otros niveles de corriente y voltaje con los que operará este prototipo en especial, dada la situación antes descrita de no contar con la información técnica en específico del generador de esta máquina procedemos a utilizar los parámetros eléctricos del generador del Prototipo I, que a continuación se listan.

Concepto	Rango
Voltaje	127 Vca.
Corriente	12 Amp.
Potencia de trabajo	2500 Watts

Los transformadores tienen como función regular voltajes de un nivel a otro, según sea la necesidad de la demanda de la carga, la siguiente etapa es la de rectificación, que consiste en una serie de elementos combinados que transforman o modifican las características de las señales eléctricas, en este caso transformamos la corriente alterna en corriente directa por medio de un arreglo de diodos rectificadores en una configuración de puente de onda completa, es decir una señal de corriente alterna es transformada por medio de un rectificador en una señal de corriente continua, esto se produce cuando los diodos rectificadores recortan los picos de la onda senoidal de la señal alterna y al trabajar dos diodos a la vez en diferentes semiciclos de la señal, el arreglo permite que el semiciclo negativo por conducción de los diodos, se establezca un pulso positivo<sup>3</sup>. Por último la etapa de filtración consiste en reducir los efectos del rizo producto de la rectificación por medio de capacitores que al cargarse compensan de manera significativa estas variaciones, aportando una señal sin cortes y casi uniforme.

- **Módulo de suministro y distribución.**- Esta sección del módulo es la encargada de entregar y repartir las señales eléctricas a lo largo de toda la máquina a partir de otros módulos, principalmente tienen que ver con los aspectos físicos de entrega o reparto de la energía necesaria para la polarización y trabajo de los diferentes sistemas y se vale de elementos tales como: el tipo de placas de conexión, el tipo de cable, materiales, tipos de conectores, calibres, longitudes y la planeación de las rutas de distribución y conexión.

Este módulo es un arreglo alámbrico y de buses (líneas o rutas) para conexión de otros módulos y elementos, una vez que el módulo de regulación, rectificación y filtración ha hecho su labor, la señal llega por diferentes líneas de conexión a los diferentes módulos y se reparte de la siguiente manera:

- Sistema de iluminación.
- Fuente primaria de voltaje.

<sup>3</sup> Robert Boylestad y Louis Nashelsky, 4ª. Edición, Prentice Hall, capítulo 2, pgs 71 – 73.

## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

- Sistema de control.
- Sistema de enfriamiento
- Sistema de fluido dieléctrico
- Generador.
- Servocontrol

Este orden no es un orden específico pero buscamos establecer uno, de forma tal que separaremos los módulos anteriores basándose en su aplicación y se clasifican en:

- Control.
- Potencia.
- Servicio.

Los primeros manejan parámetros de voltaje y corriente pequeños de 0 a 24 Vcd., 0 a 2 Amp., en los cuales sus variaciones son reguladas o moderadas; el segundo maneja parámetros grandes de 0 a 50 Vca., 0 a 12 Amp., y están sujetos a las condiciones programadas por los elementos de control y el tercero únicamente manejan parámetros pequeños menores a 2 Amp., y de conexión directa a la fuente de alimentación.

### • Consumo de la carga.

El consumo de la carga es la demanda total de energía que se entrega a los electrodos para realizar el trabajo de erosión, y también esta definida por la capacidad máxima de suministro de los elementos de la fuente de alimentación, entonces la máxima potencia total de este dispositivo estará comprendida entre los 4500 y 5000 watts.

### **3.2.2. Módulo del sistema del circuito de descarga eléctrica.**

Este módulo, junto con la fuente de alimentación eléctrica para la máquina de electroerosión en su fase II fue implementado en un trabajo de tesis por la compañera Martha Osorio en asesoría del Ing. Joel López Contreras, se realizó en las instalaciones del Sistema de Transporte Colectivo Metro, durante la construcción de este dispositivo se implementaron otros sistemas, tales como el sistema de regulación de potencia que consiste en los transformadores que varían los parámetros de corriente y voltaje de línea, así como los aislantes requeridos; El sistema de disparo de SCR's que se encarga por medio de multivibradores y conmutadores de suministrar las frecuencias de activación o paso de corriente por los SCR's y las pausas. Debido a situaciones fuera de nuestro alcance no se pueden considerar en el diseño de la máquina estos módulos y por tanto procedimos a implementar el sistema de descarga eléctrica existente en el prototipo I con sus respectivas modificaciones en el presente proyecto.

## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

Así también se construyen el módulo de la estructura, el soporte del cabezal y diversos elementos eléctricos, electrónicos y mecánicos necesarios para la implementación de esta máquina.

- **Funcionamiento:** De las líneas de alimentación se obtiene el suministro eléctrico que será regulado, rectificado y filtrado para dos niveles diferentes que son: El nivel de suministro de potencia y el nivel de suministro de control, el primero deberá contar con su propio transformador, debido a que el manejo de corrientes máximas utilizarían la corriente nominal para la que fue construido dicho transformador (para el caso del generador del prototipo I), el segundo obtendrá su polarización por medio de acoplamientos desde la fuente primaria de alimentación, que será descrita en su oportunidad. Los parámetros de la fuente de potencia serán visualizados por indicadores de carátula en el monitor, y desde este se regularán por medio de selectores e interruptores los diferentes parámetros de trabajo. Después de esta etapa la señal pasa a través de un circuito recortador de fase<sup>4</sup> que permite el mejor manejo de los parámetros de corriente y voltaje que atraviesan este sistema, la corriente pasa a través de un SCR (silicon controlled rectifier o rectificador controlado de silicio), cuyo disparo de compuerta está regulado por un TUJ (Transistor UniJuntura), a la salida del SCR se encuentran conectados en paralelo tres elementos que completan el circuito de descarga eléctrica, el primero es el multivibrador que se encarga de proporcionar las frecuencias de descarga, esta compuesto básicamente por un CI555, que puede generar un rango de frecuencias de 500 Hz. hasta aproximadamente 35000 Hz., todo esto es posible por la combinación de capacitores y resistencias, en un arreglo estable de este circuito integrado. El segundo es un circuito conocido como una fuente de voltaje autorregulada, esto es, que es capaz de moderar automáticamente los parámetros de voltaje y corriente a su salida por medio de la acción de las bases de los transistores de control, de este mismo elemento se obtiene una señal con la que se podrá trabajar en las señales de control de la máquina. El tercer elemento está compuesto por un SCR y su circuito de conmutación forzada, por medio del cual se entregará a los electrodos la corriente de trabajo, el circuito de conmutación forzada se encargará de apagar o encender el SCR, según se requiera durante el trabajo de erosión. Por último, la corriente y voltaje que pasa a través de estos elementos llega a un conmutador de polaridad, que es un dispositivo que tiene la capacidad de conmutar la polaridad de los electrodos, es decir teniendo +/- pasar a -/+ indistintamente cuando se requiera, al final de estos elementos se conectan los electrodos de trabajo.

Por lo anterior procedemos a definir las características del circuito de descarga eléctrica del prototipo, que está compuesto por siete módulos básicos que son:

- La fuente de alimentación.

---

<sup>4</sup> Tesis Diseño y fabricación del prototipo de un equipo para maquinado de metales por descarga eléctrica. Chavez del Valle Porfirio. 1992. ENEP Aragón. Capítulo III. 1.2 pgs 63 - 73

## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón

- El circuito recortador de fase.
- El circuito generador de frecuencias o circuito oscilador.
- La fuente auto regulable estabilizada.
- El circuito de disparo del SCR y su circuito de conmutación forzada.
- El conmutador de polaridad y
- Los electrodos.

De estos tomamos en su configuración original a los tres primeros módulos y los insertamos en los diagramas, con la recomendación que en un futuro al rediseñar estos circuitos, el suministro eléctrico para control sea independiente del suministro de potencia.

Tomando textualmente el análisis hecho en la tesis precedente tenemos una descripción para cada sistema.<sup>5</sup>

*El circuito elegido fue un recortador de fase que utiliza un SCR y su correspondiente oscilador, al que se le agregó un transformador para regular el voltaje de 127 Vca. a 50 Vca. Así como un rectificador de onda completa para el mejor aprovechamiento del ciclo y evitar el desperdicio de potencia suministrada.*

*Es importante señalar para el caso de este prototipo, que no tendrá una capacidad muy elevada en el generador de voltaje de corriente directa por lo cual a la máquina se le destinará para trabajos de acabado (y desbaste medio).*

*Por tanto es necesario colocar un transformador reductor antes del dispositivo de rectificado para disminuir el voltaje de línea de 127 Vca. a 50Vca., proporcionando un rango de diferencia de potencial suficiente para el funcionamiento del sistema de disparo (0 – 50 volts) y para el proceso de erosión. Los circuitos de la fuente de alimentación se diseñaron para suministrar y soportar intensidades de corriente de un rango de 0 – 10 Amperes. El circuito utilizado fue un recortador de fase que utiliza un SCR y su correspondiente oscilador o circuito de disparo a la entrada, se le conectó el transformador para reducir el voltaje de línea, se le agregó también un puente rectificador de onda completa.*

---

<sup>5</sup> Chavez del Valle Porfirio. Diseño y fabricación del prototipo de un equipo para maquinado de metales por descarga eléctrica. Tesis 1992 ENEP Aragón. Capítulo III 1.2. pgs 63 - 73

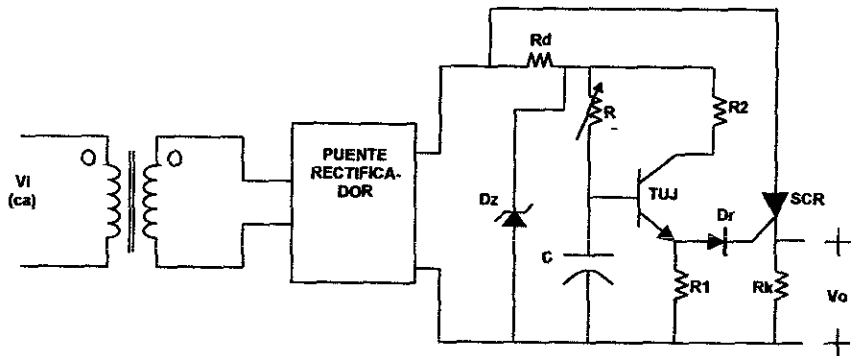


Figura 3.2.2.a Circuito recortador de fase que utiliza un SCR, empleado en el prototipo I.

### CIRCUITO DETECTOR

Es el dispositivo que nos sirve para censar la presencia de corriente eléctrica, cortos-circuitos, sobre-tensiones y sobre-corrientes, y al mismo tiempo reduce el riesgo de dañar los circuitos y elementos de la fuente de voltaje. Lo anterior permite al dispositivo actuar como una fuente de voltaje regulada y estabilizada, es por esto que seleccionamos el uso de un *arreglo push-pull de transistor*, el cual por sus características podemos implementar dentro del circuito del generador. Para poder plantear lo anterior, consideramos necesario definir los siguientes conceptos:

Una fuente de alimentación es un dispositivo que principiando con la tensión alterna de la red, transforma la corriente alterna en corriente continua, y se pueden clasificar en dos grupos:<sup>6</sup>

- Fuentes de tensión: su función es mantener la tensión de la salida en un valor determinado, siendo variable el valor de la intensidad de salida dentro de ciertos límites.
- Fuentes de intensidad: mantiene una intensidad de salida determinada permitiendo variar la tensión de salida dentro de ciertos límites.

Nuestro interés se enfoca en las primeras, las cuales se pueden clasificar en:

- Simples, donde la tensión de salida es fija, pero depende de:

<sup>6</sup> C. Angulo, A. Muñoz, J. Pareja, Practicas de electrónica, Semiconductores básicos: diodo y transistor, Págs. 117 - 133.

- (a) Variación de la tensión de entrada.
- (b) Variación de la corriente de carga.
- (c) Variación de la temperatura.

Dichas fuentes de alimentación están constituidas por un transformador, un rectificador y un filtro, y sus parámetros más importantes son:

- Tensión de entrada.
  - Tensión nominal de salida.
  - Intensidad nominal de salida.
  - Regulación.
- Estabilizadas: en las cuales la tensión de salida es fija y constante, un parámetro muy importante con el que cuentan estas fuentes de alimentación, es el factor de estabilidad
  - Regulables: La tensión de salida es variable, dentro de ciertos márgenes, se dividen en dos tipos:
    - (a) Regulable simple.
    - (b) Regulable estabilizada.

Al añadir un elemento estabilizador a una fuente de alimentación, obtenemos una fuente estabilizada, este elemento está compuesto por un elemento compensador y por un elemento detector, al emplear un transistor como elemento compensador a la fuente se le conoce como una fuente de alimentación estabilizada serie.

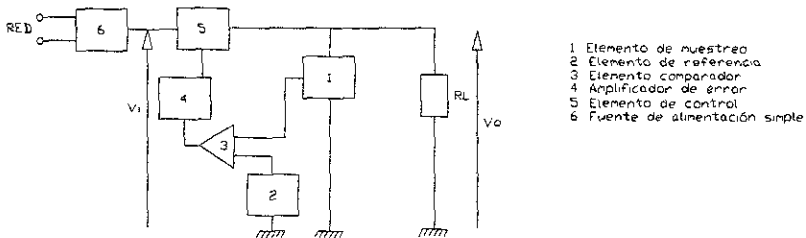


Figura 3.2.2.b Diagrama de bloques de una f.a. regulable<sup>13</sup>.

<sup>13</sup> Ibid Pg. 126



## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

En el esquema anterior podemos observar la organización básica de este tipo de fuente.

1. Elemento de muestreo.
  2. Elemento de referencia.
  3. Elemento comparador.
  4. Amplificador de error.
  5. Elemento de control.
  6. Fuente de alimentación simple.
- Fuente de alimentación regulable estabilizada.<sup>8</sup>

Un esquema de este tipo se muestra en la siguiente figura, en el cual se señalan con una línea discontinua cada uno de los bloques de que consta, en especial el elemento de referencia esta constituido por un diodo zener y una resistencia.

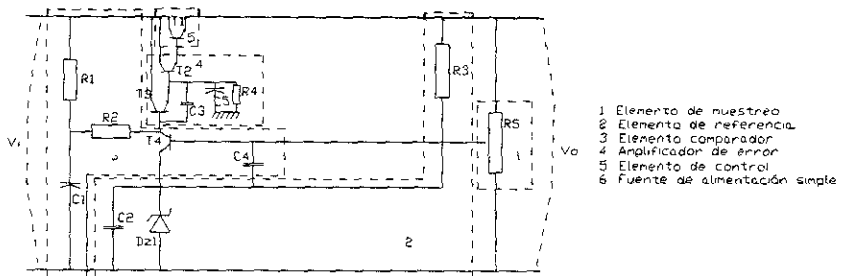


Figura 3.2.2.c Fuente de alimentación regulable estabilizada.

Para entender la operación del circuito anterior observemos lo siguiente:

- Las resistencias  $R_1$  y  $R_2$  en serie, son la resistencia de colector de  $T_4$  y están desacopladas por  $C_1$  ante posibles transitorios.
- La resistencia  $R_4$  se considera carga para  $T_3$ , y como se encuentra en configuración de colector común  $T_2$  es considerado igualmente como carga,  $C_5$  en alterna desacopla a  $R_4$  y se puede omitir para una idea básica de funcionamiento, por la misma razón  $C_2$ ,  $C_3$  y  $C_4$  desacoplan a diversos

<sup>8</sup> Ibid pg. 128

## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

componentes ya que nos interesa el comportamiento del circuito en corriente continua.

- Los transistores T2 y T3 ambos en configuración de colector común forman el amplificador de error y su función se puede representar con un solo transistor (T2-3) ya que en ambos casos la ganancia de tensión es próxima a la unidad.

Por lo anterior el circuito se puede representar de la siguiente forma, y podemos ubicar los diferentes bloques de la fuente.

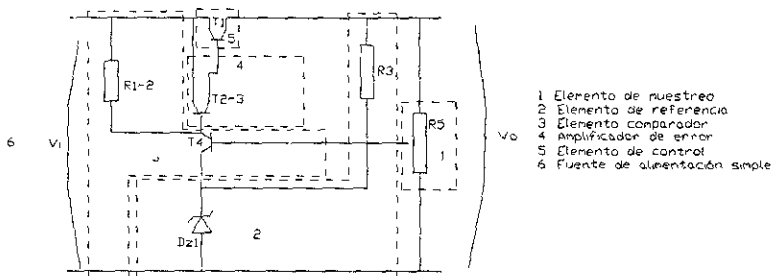


Figura 3.2.2.d Circuito reducido de una f.a. estabilizada

En operación normal el voltaje de emisor de T<sub>4</sub> es igual a  $V_{zener}$  dependiendo de la posición del potenciómetro se polarizara mas o menos la base de T<sub>4</sub>, que conducirá más o menos. La tensión de colector menos aproximadamente 2.1 volts de los diodos base-emisor de T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>, será la tensión de salida.

Este circuito lo proponemos por que consideramos que debido a las consultas realizadas es un elemento adecuado a las necesidades de operación de la máquina y por esto es necesario más sobre sus características y saber del comportamiento de dicho circuito en la variación de la resistencia de la carga ( $R_L$ ), suponiendo constante el voltaje de entrada ( $V_i$ ).

Si  $R_L$  aumenta respecto a su valor original y como la resistencia de colector a emisor de T<sub>1</sub> ( $R_{CE1}$ ) permanece constante, implica una tendencia al aumento en el voltaje de salida ( $V_o$ ), ya que  $R_L$  aumenta implica una disminución de la corriente de salida ( $I_o$ ) y por tanto de la corriente de emisor de T<sub>1</sub> ( $I_{ET1}$ ).

Si  $V_o$  aumenta entonces el voltaje de base de T<sub>4</sub> ( $V_{BT4}$ ) aumentará con lo cual se polariza más y como resultado el voltaje de colector de T<sub>4</sub> ( $V_{CT4}$ ) disminuye, esto produce una disminución en la polarización de base de T<sub>2,3</sub>, por tanto una disminución de voltaje de emisor de T<sub>2,3</sub>, al estar en configuración de emisor seguidor, esta reducción de tensión en la base de T<sub>1</sub> hace que el transistor se

Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

polarice menos provocando un aumento en la caída de tensión de colector-emisor de  $T_1$ .

Obteniendo por ley de Kirchoff de voltajes a la salida la siguiente ecuación de malla  $V_o = V_i - V_{CE1}$  notamos como  $V_i$  permanece constante al tender  $V_o$  a aumentar, se produce un aumento del  $V_{CE1}$  con lo cual obliga a que  $V_o$  retorne a su valor original. El comportamiento del circuito de manera inversa es idéntico a los anteriores intercambiando aumentos por disminuciones.

Por lo anterior, una disminución de  $R_L$  provoca un mayor  $I_{E1}$  y esto a su vez produce una disminución de la tensión en  $V_{CE}$  con lo que se mantiene constante  $V_o$ , si se llegara a presentar un corto circuito de la carga el emisor de  $T_1$  no tiene límite para la corriente y esto puede producir la destrucción de  $T_1$ .

Para solucionar este problema se implementa la siguiente opción en la que se observa la introducción en serie con la carga de una resistencia y de un transistor ( $T_5$ ) en configuración de emisor común.

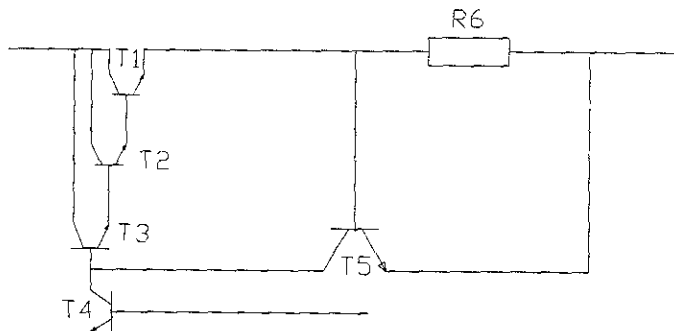


Figura 3.2.2.d Limitador de corriente compuesto por  $T_5$  y  $R_6$ .

Al estar  $R_6$  en serie con la carga provocará una caída de tensión en aquella que polariza la unión base-emisor de  $T_5$ , mientras la corriente de la carga ( $I_L$ ) se mantenga por debajo de cierto nivel la tensión desarrollada en  $R_6$  será suficiente para provocar la conducción de  $T_5$ , en caso de que la carga disminuya excesivamente, en  $R_6$  se obtiene una tensión superior a la tensión de codo del diodo base-emisor, pasando el transistor a un estado conductor y circulando una corriente de colector, la cual es suministrada a través de  $R_1$  y  $R_2$ , incrementando la caída de tensión en estas resistencias y disminuyendo la tensión de base de  $T_3$ , lo que induce que la resistencia de paso de colector-emisor de  $T_1$  aumente, limitando por tanto la intensidad de la carga.

Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

Entonces el circuito queda de la siguiente forma:

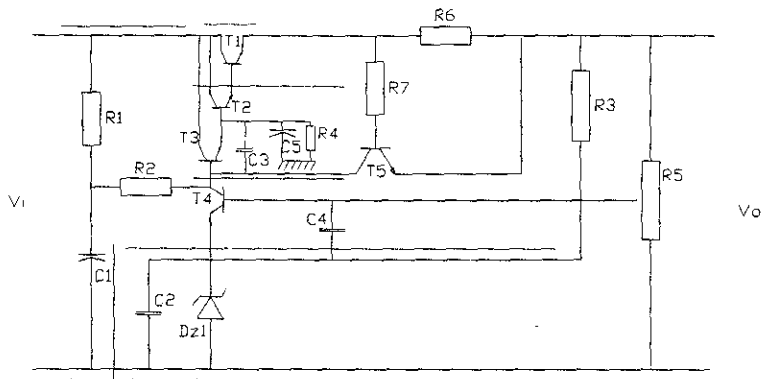


Figura 3.2.2.e Circuito final de una fuente regulable estabilizada con elemento limitador T5 y R6.

Una vez conocido el circuito de la fuente regulada y estabilizada procedemos al calculo de sus componentes:

**PARA EL ELEMENTO DE REFERENCIA**

Datos del diodo D1 zener

$$6V8 \Rightarrow \text{ ECG5014A } 0.5 \text{ W. } 6.8V.^9$$

La corriente del diodo se obtiene de:

$$I_{DZ} = P_{DZ} / V_{DZ} = 0.5 \text{ W} / 6.8 \text{ V} = 0.0735 \text{ Amp.}$$

Entonces

$$I_{DZ} = (V_{fte} - V_{DZ}) / R_D; \text{ despejando } R_D = (V_{fte} - V_{DZ}) / I_{DZ} \Rightarrow (1)$$

Donde  $V_{fte \text{ max}} = \sqrt{2} * 50 \text{ V.} = 70.71 \text{ V.}$

Sustituyendo valores en (1) tenemos:

$$R_D = (70.71 - 6.8) / 0.0735 = 869.52 \Omega$$

<sup>9</sup> ECG Semiconductors, Master Replacement Guide, Industrial Commercial Entertainment, Equipment Maintenance and Repair, 1996 Edition, pg 1-114,Z3A.

## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

Los valores comerciales para  $R_D = 950 \Omega$ , donde  $R_D = R_3$  del circuito del módulo de referencia.

La potencia que disipa  $R_D$  es:

$$P_{RD} = V_{RD}^2 / R_D = (50^2 \text{ V}) / 869.52 \Omega = 2.8751 \text{ Watts}$$

### PARA EL AMPLIFICADOR DE ERROR.

Considerando el análisis para corriente continua, todos los capacitores se consideran circuitos abiertos, por tanto es necesario considerar que en  $R_7$  debe pasar la corriente necesaria para saturar la base de  $T_2$  y la corriente que limita  $R_4$ .

La corriente mínima necesaria para saturar a  $T_3$  es de 400 mA y la ganancia considerada es 30 por tanto tenemos:

$$I_{T2} = 400 \times 10E-3 / 30 = 13.33 \times 10E-3 \text{ Amp.}$$

$$I_{R4} = 50 \text{ V} / 10 \text{ k}\Omega = 5 \times 10E-3 \text{ Amp.}; \quad P_{R4} = 50 (5 \times 10E-3) = 0.25 \text{ watts}$$

Por lo que la corriente en  $R_7$  será:

$$I_{R7} = I_{T2} + I_{R4} = 13.33 \times 10E-3 + 5 \times 10E-3 = 18.33 \times 10 E-3 \text{ Amp.}$$

Entonces:

$$R_7 = V / I_{R7} = 50 / 18.33 \times 10E-3 \text{ V} = 2727.77 \Omega \quad \text{por convención } 2.7 \text{ k}\Omega.$$

$$P_{R7} = 50^2 \text{ V} / 2.7 \text{ k}\Omega = 0.926 \text{ watts, por convención } 1 \text{ watt}$$

Para saturar  $T_1$  es necesario saber el valor de  $R_8$  que debe proporcionar la corriente necesaria para la base de  $T_1$ , más la corriente necesaria para un muestreo de la señal al sistema de control denotado como *DCE* en el diagrama, considerando que por esta resistencia pasa la corriente necesaria para saturar dos transistores del mismo tipo, y estos son TIP48, la corriente será de 800 mA. Entonces tenemos:

$$R_8 = 50 \text{ v} / 800 \times 10E-3 \text{ Amp.} = 62.5 \Omega$$

$$P_{R8} = 50^2 \text{ V} / 62.5 \Omega = 40 \text{ watts}$$

### EN EL ELEMENTO DE MUESTREO

## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

Para T<sub>4</sub> la corriente de base máxima es de  $I_B = I_C / \beta = 0.6 \text{ amp.} / 200$

$$I_B = 3 \times 10E-3 \text{ amp.}$$

$$R_5 = V / I_{R5} = 50 \text{ V} / 3 \times 10E-3 \text{ amp.} = 16.6666 \text{ k}\Omega \text{ (potenciómetro)}$$

$$P_{R5} = 50^2 / 16.6667 \text{ k}\Omega = 0.15 \text{ watts}$$

### PARA EL ELEMENTO COMPARADOR

Para saturar T<sub>3</sub> se requieren 400 mA En la base, entonces

$$I_T = 400 \times 10E-3 \text{ amp.} / 30 = 13.33 \times 10E-3 \text{ amp.}$$

$$R_{12} = V / I_{T3} = 50 \text{ V} / 13.33 \times 10E-3 \text{ amp} = 3750.9377 \Omega$$

$$P_{R12} = 50^2 \text{ V} / 3750.9377 \Omega = 0.6665 \text{ watts}$$

Nota.- P<sub>R12</sub> debe dividirse en dos elementos R<sub>1</sub> y R<sub>2</sub> para ser montados en el circuito.

### EN EL ELEMENTO LIMITADOR

Para saturar la base de T<sub>5</sub> se requieren  $I_{B5} = 3 \times 10E-3 \text{ amp.}$

$$R_{61} = V / I_{R61} = 50 \text{ V} / 3 \times 10E-3 \text{ amp} = 16.666 \text{ k}\Omega$$

$$P_{R61} = 50^2 / 16.6667 \text{ k}\Omega = 0.15 \text{ watts.}$$

Para saber el valor de la resistencia R<sub>6</sub> solo tenemos que saber los parámetros de corriente de operación del generador y son:

$$I_{\text{max.}} = 10 \text{ Amp.}$$

$$I_{\text{min.}} = 2 \text{ Amp.}$$

Por tanto tenemos:

$$R_{6\text{max}} = V / I_{R6\text{max}} = 50 \text{ V} / 10 \text{ Amp.} = 5 \Omega$$

$$P_{R6\text{max}} = 50^2 / 5 \Omega = 500 \text{ watts}$$

$$R_{6\text{min}} = V / I_{R6\text{min}} = 50 \text{ V} / 2 \text{ Amp} = 25 \Omega$$

$$P_{R6\text{min}} = 50^2 / 25 \Omega = 100 \text{ watts}$$

## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

Una vez conocidos estos valores procedemos a la implementación del circuito de disparo que estará acoplado a la salida de esta fuente regulada con las siguientes características:

A la salida positiva de la fuente antes tratada se acopla en serie el SCR utilizado en el circuito de descarga eléctrica del prototipo I, y el capacitor que se encuentra conectado a la salida de este arreglo, se modificó su dimensión es decir al utilizar capacitores electrolíticos pequeños, su periodo de vida es corto, y dadas las demandas de la carga y los tiempos de operación se dañaban, además de que el espacio para almacenar energía es pequeño, dando lugar a que se descargara completamente en el disparo, por esto se sugiere emplear un capacitor del mismo parámetro con un mayor volumen de almacenamiento. El elemento de disparo se acopla a la compuerta del SCR de acuerdo al siguiente circuito, utilizando un transistor TIP 48 como interruptor.

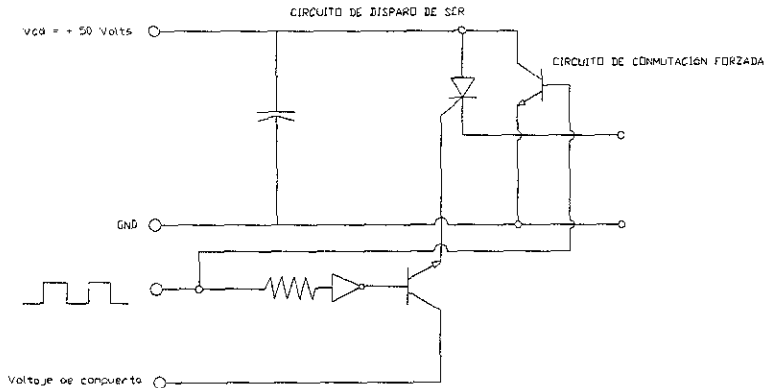


Figura 3.2.2.f Circuito de disparo del SCR de salida.

En el circuito observamos que para saturar la base de  $T_7$  debemos tener:

$$I_{R9} = 400 \text{ E-3 Amp} / 30 = 13.3333 \times 10\text{E-3 Amp}$$

y el voltaje suministrado por el oscilador es de aproximadamente 10 Volts, por tanto tenemos que:

$$R_9 = V / I_{R9} = 10 \text{ V} / 13.33 \times 10\text{E-3 Amp} = 750 \Omega$$

$$P_{R9} = 10^2 / 750 \Omega = 0.1333 \text{ watts}$$

## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

Para saturar la compuerta de SCR se requiere una corriente de 40 mA. En  $R_{10}$ , por tanto:

$$R_{10} = V / I_{R10} = 50 \text{ V} / 40 \times 10E-3 \text{ Amp} = 1250 \Omega$$

$$P_{R10} = 50^2 / 1250 \Omega = 2 \text{ watts}$$

Del emisor de  $T_2$  se obtiene la señal que alimenta al actuador del circuito de retiro automático del servo, la corriente que se reserva en el *punto (A)* es de 400 mA, este actuador debe accionar o polarizar arreglos de interruptores secos (relevadores), más al frente explicamos la combinación de señales que producirán diferentes efectos de avance y velocidad en el servomotor.

### **3.2.3. Módulo del sistema servomando.<sup>10</sup>**

El módulo de servomando es un dispositivo comercial marca Yaskawa integrado por los siguientes dispositivos:

Servomotor	Tipo	SGM-01B312
Operador Digital	Tipo	JUSP-OP02A
Variador de Velocidad	Tipo	606PC3
Servopack	Tipo	SGD-01BS

Los cuales al formar un arreglo proporcionan una amplia gama de aplicaciones en control, esta descrito como un Servomotor AC con codificador Incremental/Absoluto para Control de Velocidad y Torque<sup>11</sup>. Es un producto desarrollado como controlador PLC básico mecatronico aplicable a robótica y maquinaria automática, es reconocida como una serie llamada Sigma. El servomotor AC consiste primariamente de un Servomotor de Corriente Alterna AC y sus controladores, El Servopack y El variador de velocidad (inversor), las características particulares del servomotor AC son de un amplio rango de potencia y rápida respuesta, el servopack construido con técnicas LSI e IC's híbridos, lo cual reduce el tamaño de la unidad y simplifica el cableado, y una característica adicional es la alta precisión en la resolución de pulsos que permite un flujo de pulso continuo, (non-stop pulse flow), para los sistemas mecatronicos, la flexible combinación de un servomotor AC y un servopack permite un control de operación estable con alta precisión, rápida respuesta bajo cualquier condición de operación, y un fácil mantenimiento por medio de funciones de pantalla/protectivas.

#### **Propiedades:**

- Amplio Rango de Potencia.
- Para Servomotores SGM
- 1/3 del tamaño y peso de los modelos convencionales.
- Para Servopack SGD

<sup>10</sup> Las descripciones y definiciones de estos elementos y dispositivos que componen este módulo son la interpretación de la traducción del manual, que acompaña al equipo

<sup>11</sup> Σ SERIES SGM/SGD, AC SERVO DRIVES WITH INCREMENTAL/ABSOLUTE ENCODER FOR SPEED (TORQUE) CONTROL, Manual de dispositivos, YASKAWA ELECTRONIC CORPORATION, PRINTED IN JAPAN, JULY 1993.



## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

- $\frac{1}{4}$  del tamaño de los modelos convencionales.
- En ambos codificador incremental o absoluto disponibles en montaje de base en el Servopack.
- Fácil operación con función de autoajuste.
- Alto desempeño con un rango de control de velocidad de 1:5000 realizada, (probada)
- Número de cables entre el motor y el codificador se reduce desde 15 a 9.
- Puede ser instalado dentro de cualquier ambiente debido a su recubrimiento protectorio.

### EL SERVOMOTOR SGM-01B312.

#### **Definiciones:**

Servomotor.- Un motor de inducción bifásico de jaula de ardilla, consiste de una estructura estacionaria de hierro laminado llamada estator y de un miembro giratorio llamado rotor. El primero es ranurado en su periferia interna y los devanados se colocan dentro de estas ranuras en un arreglo doble que permite tener dos ejes magnéticos, uno perpendicular al otro, El rotor consiste de un cilindro ranurado hecho con laminaciones de hierro montadas sobre el eje del motor. Se colocan barras sólidas de cobre o aluminio a lo largo de las ranuras del rotor conectadas entre si por anillos del mismo material en ambos extremos. El motor gira cuando se conecta un devanado del estator a una fuente de voltaje de corriente alterna y el otro a una fuente similar pero con un defasamiento de 90 grados con respecto al primero. Las dos alimentaciones pueden provenir de la misma fuente con cualquier clase de elemento defasador interpuesto en el circuito que va a uno de los devanados. En cuanto a su funcionalidad los servomotores tienen un circuito que se conecta a una fuente constante, que es de corriente alterna así como también un segundo circuito alimentado por un voltaje proveniente de un detector de error. Tiene una característica de caída de velocidad con el par, que es cierta en el caso en que la carga aumenta sin alterar los voltajes. Pueden manejar una carga más pesada a la misma velocidad o la misma carga a una velocidad mayor cuando aumenta el voltaje. En otras palabras, el par es aproximadamente proporcional al voltaje si la velocidad se mantiene constante, se invierte el sentido de rotación cuando el voltaje variable también invierte su polaridad o su fase.

Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

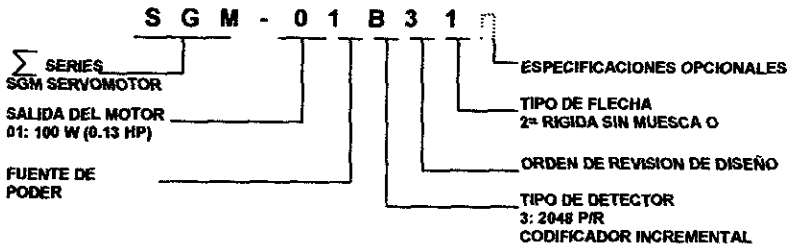


Figura 3.2.3.a Tipo de designación para el servomotor.

El servomotor SGM-01B312 es un motor de corriente y voltaje alterna de 100 VAC de una fase, de magneto permanente cerrado y construido herméticamente, con una potencia de 100 W, equivalente a 0.13 HP, cuenta con un codificador Incremental que permite variar de forma muy precisa la velocidad del mismo, es comunicado alámbicamente y su flecha mecánica no cuenta con una muesca o cuñero. Este dispositivo fue diseñado y construido de manera compacta con el propósito de reducir sus dimensiones mecánicas y peso, manteniendo las características deseadas (tabla B en el APÉNDICE C).

EL OPERADOR DIGITAL JUSP-OP02A.

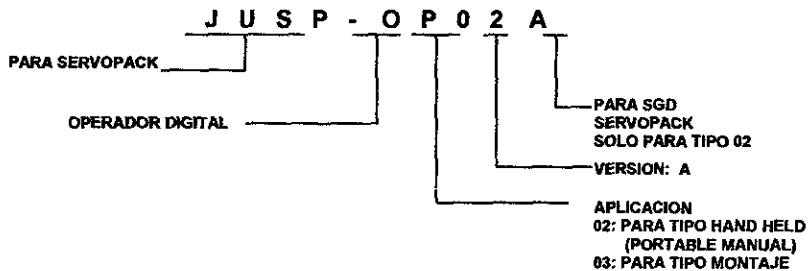


Figura 3.2.3.b Tipo de designación para operador digital

El operador digital es una Interfase que permite al usuario controlar por medio de botones las funciones del servopack obteniendo como respuesta códigos alfanuméricos, existen dos tipos de operadores digitales; El primero es de tipo montaje, este dispositivo tiene la propiedad de ser instalado en el cuerpo del servopack por medio de dos seguros y un conector DB-9, esta cualidad esta definida principalmente para la operación del servopack en forma local es decir este aparato modificara las funciones del controlador en el área en la que el dispositivo se encuentre instalado.

## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

Tiene una pantalla alfanumérica de 7 segmentos de led (light emitting diode, diodo emisor de luz) por 5 dígitos, dos teclas de cursor, arriba/abajo (up/down), que permiten seleccionar una función o instrucción en un menú establecido, una tecla modo/activa, (mode/set), que permite establecer el modo de operación, así como activar las funciones deseadas y por último cuenta con una tecla de datos (data), que permite la introducción de la información deseada en la dirección seleccionada por medio de la combinación de las otras teclas.

Este dispositivo puede ser instalado o retirado en el momento en que se encuentre fuera de operación el dispositivo,

El segundo tipo es un dispositivo JUSP-OP02A-1, Portable Manual (hand-held, sujetable), remoto enlazado alambéricamente por medio de un conector tipo DE9405258 fabricado por NEC, y un cable par trenzado con una longitud máxima de 2 mts., este dispositivo tiene una pantalla de 5 dígitos TIL de 7 segmentos de led, cuenta con una tecla Alarma/reset (alarm/reset) el cual activa o desactiva la función de indicador de riesgo o falla también reinicializa el sistema recargando los parámetros establecidos, tiene una tecla despliegue/activa (displ/set), esta tecla permite visualizar en la pantalla las funciones que el dispositivo puede ejecutar desplegando códigos alfanuméricos y permite también activar las funciones deseadas, la tecla carrera/variación de velocidad encendida (jog/svon), permite activar la variación de velocidad en el servopack SGD-01BS, la tecla datos/introduce (data/enter), permite seleccionar la información deseada en pantalla así como permite introducir o cargar un dato o comando que se encuentre en pantalla hacia el controlador, cuenta con cuatro teclas arriba-abajo-derecha-izquierda (up-dwn-lft-rgt), que son el cursor, es decir seleccionan las opciones por medio de desplazamientos dentro de las pantallas, comandos o datos que se encuentran en las bases de datos de información del controlador.<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> Nota.- Para verificar los modos de función del operador digital consulte el **apéndice B**.

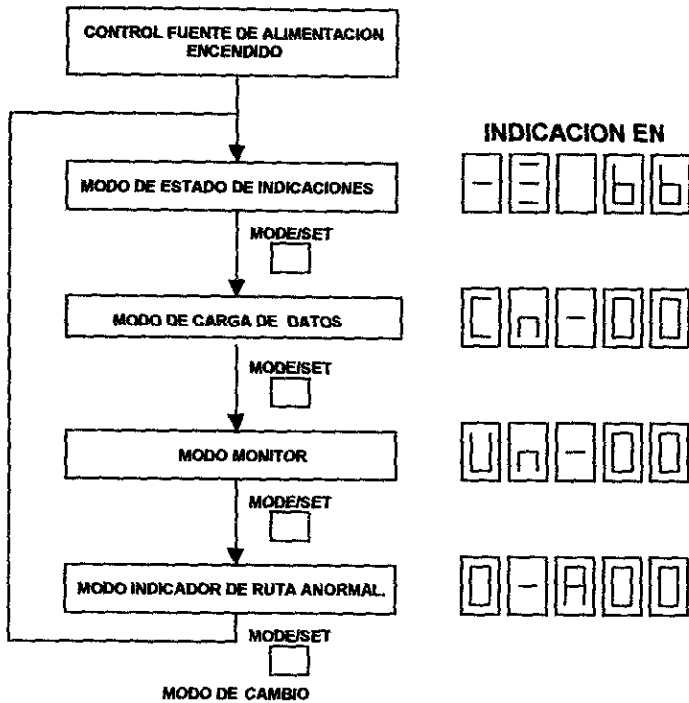


Figura 3.2.3.c Secuencia del modo de acceso para el operador digita.

### Operación del interruptor.

El operador Digital tiene funciones conocidas como la lista del diagrama de flujo arriba mencionado y se les conoce como modos. Este aparato tiene la cualidad de conservar la información en memoria aun después de apagado o al ser interrumpido su trabajo por una falla. Además sus funciones pueden ser cambiadas durante su operación. Para realizar esta operación es necesario presionar la tecla modo/carga (mode/set)<sup>13</sup>

<sup>13</sup> Nota - La tabla 3.5 muestra el contenido de la información esta tabla se encuentra en el apéndice B de este documento. La tabla 3.6 muestra los códigos y las condiciones en el Modo Estado de Indicación ver apéndice B de este documento.

## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

Modo de carga.

En este modo las siguientes operaciones pueden ser ejecutadas .<sup>14</sup>

- ◆ Verificación y Modificación de las constantes usuario.
- ◆ Controlar las funciones desde el operador digital.
- ◆ Ajuste del Offset.
- ◆ Limpieza de datos de la ruta carga anormal.
- ◆ Verificación de los parámetros del motor.
- ◆ Autoajuste
- ◆ Verificación de la versión de software.

### **VARIADOR DE VELOCIDAD VS-606PC3.**

Inversores:

Conocido también como rectificador-inversor que convierte, primero potencia de ca en potencia de cc y luego, de nuevo, la potencia de cc en potencia de ca a una frecuencia diferente.

Un rectificador-inversor se divide en dos partes:

Un rectificador para producir potencia de cc.

Un inversor para producir potencia de ca de potencia de cc.

Rectificador

Un circuito rectificador es un circuito que convierte potencia de ca en potencia de cc. Hay muchos circuitos rectificadores diferentes, que producen grados variables de alizamiento en su salida de cc. Los cuatro circuitos rectificadores más comunes son:

Rectificador de media onda

Rectificador de puente de onda entera

Rectificador trifásico de media onda

Rectificador trifásico de onda entera

Estos circuitos tienen, desde el punto de vista del control de motores, un problema: su voltaje de salida es fijo para un determinado voltaje de entrada, dicho problema se soluciona remplazando los diodos por SCR. El voltaje de salida depende del tiempo en que sean encendidos estos elementos, durante sus semiciclos positivos.

---

<sup>14</sup> DIGITAL OPERATOR, MOUNT TYPE FOR AC SERVOPACK TYPE SGD, TYPE JUSP-OP03A, YASKAWA ELECTRIC CORPORATION, JAPAN, 1993, Págs. 36-59.

## **INVERSOR**

Los inversores se clasifican en dos tipos básicos, según la técnica de conmutación que se use: conmutación externa y autoconmutación.

Los inversores de conmutación externos son aquellos en los cuales la energía que se requiere para apagar los SCR la suministra un motor o fuente de potencia externas. A este inversor también se le llama inversor de conmutación de carga.

Los inversores de autoconmutación son en los cuales los SCR activos han sido apagados con energía almacenada en un condensador cuando otro SCR ha sido encendido. También es posible diseñar inversores de autoconmutación utilizando los GTO<sup>15</sup> o transistores de potencia, en cuyo caso no se requerirán condensadores de conmutación.

Hay tres tipos principales de inversores de autoconmutación:

- Inversores de Alimentación de Corriente (IAC).
- Inversores de Alimentación de Voltaje (IAV).
- Inversores por Modulación de Ancho de Pulso (MAP).

Los inversores de alimentación, tanto de corriente como de voltaje, son más sencillos que los inversores MAP, los cuales necesitan un mayor y más complejo control sobre los elementos de los circuitos y más rapidez de conmutación de los componentes que los IAC y los IAV.

El VS-606PC3 es un inversor digital ultracompacto que ofrece una operación con bajo ruido.

Se disponen de dos tipos:

- 1) Con operador digital
- 2) Con placa indicadora de estado.

El operador digital permite una máxima utilización del controlador al proveer de acceso a las constantes y variables de operación del programa del inversor.

El modelo con la placa indicadora provee de códigos de estado e indicación de faltas mientras limita de accesos no autorizados a las constantes de programación.

Este dispositivo tiene un arreglo como a continuación se describe:

Entrada de alimentación de línea Vac.  
Bus de entradas y salidas para control.

---

<sup>15</sup> GTO, Gate Turn off switch.- Interruptor controlado por compuerta

Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

- Contacto de entradas multifuncional.
- Tablero de entrada análogo JVOP-115.
- Contacto de salida multifuncional.
- Foto-acoplador multifuncional.
- Monitor análogo.

Dada la capacidad de este dispositivo no será empleado en la construcción de la máquina de electroerosión y su definición se tomo en cuenta por que forma parte de un sistema modular.

**SERVOPACK SGD-01BS**

El servopack es un Controlador Lógico Programable (PLC), que se encarga de administrar el programa de operación del sistema Yaskawa con respecto a las variables que le sean suministradas a su base de datos. Utiliza elementos interruptores de alta velocidad en el circuito principal, este dispositivo puede ser alimentado por las líneas comerciales de potencia, para prever accidentes en las líneas de potencia debidos a posibles errores de referencia a tierra, errores de contacto o para proteger al sistema del fuego, los interruptores de circuito o fusibles deben ser instalados de acuerdo a las necesidades del tipo de servopack. Tiene una serie de características tales como: un circuito protector de sobrecarga que protege al servomotor y al servopack de este fenómeno y restringe de un posible tiempo de conducción al servopack. El dispositivo controla la máxima corriente de armadura para restringir la velocidad del motor en amplitud.

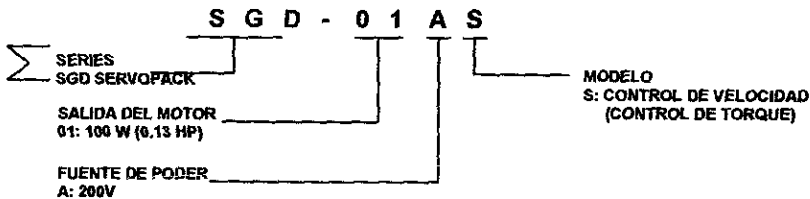


Figura 3.2.3.d Tipo de designación para servopack

El servopack atiende las siguientes constantes de usuario, que pueden ser cargadas y modificadas para que actúen en el sistema.

- Referencia de la ganancia del ajuste de velocidad.
- El lazo de ganancia de velocidad.
- La constante de tiempo de la velocidad del lazo de integración.
- Parada de emergencia del torque.
- Tiempo de arranque suave.
- Límite de torque de avance al frente.
- Límite de torque de avance atrás.
- Nivel de velocidad-cero.

ESTA TESTA EN DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

Referencia de torque.

Velocidad de avance.

En este dispositivo se implementará el arreglo remoto automático para conmutar dirección y variar la velocidad de desplazamiento del cabezal.

A continuación describiremos los elementos y arreglos que se emplearán para el acoplamiento de este sistema a los demás sistemas de la máquina.

Para poder controlar el desplazamiento, dirección y torque del cabezal se empleará el arreglo sugerido para el servopack en relación con algunos periféricos los cuales se conectarán en la ranura de expansión situada al frente del servopack e identificada como 1CN para señales de entrada/salida, esta ranura nos permite comunicarnos de manera física con el controlador, el diagrama de identificación de pines se encuentra al final de este documento en el apéndice D.<sup>16</sup>

Existen siete señales de entrada que son:

- Inhibidor de avance al frente.
- Entrada de encendido del servo.
- Manejador del circuito proporcional.
- Circuito de protección de limite de carrera.
- Circuito limitador de corriente.
- Entrada de reinicio de alarma.

Algunas de estas entradas para ser activadas requieren de una fuente externa de alimentación de 24 Vcd y una capacidad de corriente de 5 mA/circuito,

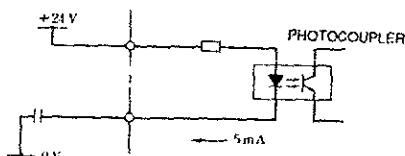


Figura 3.2.3 e Configuración del circuito I/O<sup>17</sup>

### COMANDOS DE FUNCIONES DEL OPERADOR DIGITAL

A continuación definimos los comandos de las señales de entrada y su función, para ser activadas conjuntamente en el operador digital.

<sup>16</sup> Manual,  $\Sigma$ series SGM/SGD, AC SERVODRIVES WITH INCREMENTAL/ABSOLUTE ENCODER FOR SPEED (TORQUE) CONTROL, SERVO MOTOR TYPE SGM-01B312, SERVOPACK TYPE SGD-01BS, Pg

25

<sup>17</sup> Ibid pg 25



## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

### P-CON<sup>18</sup>

Esta señal de entrada funciona como cualquiera de las siguiente cuatro señales dependiendo de los bits A y B de la constante de usuario Cn-01

- (a) Manejador proporcional Pdrive.
- (b) Operación de anclaje cero.
- (c) Intercambiador de control de torque/control de velocidad.
- (d) Dirección de rotación para el parámetro de referencia de velocidad.

### P-OT, N-OT (limite de carrera al frente, limite de carrera a la reversa)<sup>19</sup>.

Estos circuitos son usados para detectar la carrera al frente (dirección de las manecillas del reloj) y la carrera de reversa, cuando el limite de carrera no se usa el conector 1Cn 16 y 17 se referencian a 0 volts de la fuente externa de 24 Vcd o se invalida esta función por la carga de los bits 2 y 3 de las constantes de usuario Cn-01.

Esta operación puede ser ejecutada cuando un límite de carrera ocurre y puede ser seleccionada de las cuatro siguientes formas.

- (a) Frenado hasta parar.
- (b) DB stop, parada por freno dinámico.
- (c) Parada por torque específico, cargado por el usuario Cn-06.
- (d) Anclaje cero después de parada por torque, cargado por el usuario Cn-06.

### Servo-activado [SV-ON]<sup>20</sup>

Al cargar esta señal se activa la energía del actuador principal del circuito del servopack.

El motor no puede arrancar a menos que la señal este como entrada, cuando esta señal se apaga mientras el motor funciona, se detendrá por acción del freno dinámico, esta señal es entrada automáticamente dependiendo de los carga del bit 0 de la constante de usuario Cn-01.

### P-CL, N-CL<sup>21</sup>

Estas señales de entrada funcionan tal como las siguientes dos señales, dependiendo del bit 2 de la constante de usuario Cn-02

- (a) Limite de corriente externa para avance al frente/referencia de avance en reversa.

---

<sup>18</sup> Ibid pg25

<sup>19</sup> Ibid pgs. 25, 26

<sup>20</sup> Ibid pg 26

<sup>21</sup> Ibid pg 26

Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

Un circuito para la supresión de la máxima corriente de armadura valor presente al avance al frente o a la reversa, dicho valor puede ser especificado independientemente para frente o reversa por la carga de la constante de usuario Cn-18 y 19.

(b) Carga externa de velocidad (1 a 3) selección de referencia.

Las velocidades 1ª a 3ª pueden ser seleccionadas de acuerdo a las entradas como se muestra en las siguientes tablas.

VELOCIDAD	$\overline{N-CL}$	$\overline{P-CL}$
1ª.	1	0
2ª	1	1
3ª	0	1
PARO	0	0

DIRECCIÓN	$\overline{P-CON}$
FRENTE	0
REVERSA	1
ON -1	OFF - 0

Figura 3.2.3.f Tablas de referencias de bits de entrada para control de dirección y velocidad en el servopack, conector Cn-1.

Por lo anterior deducimos que el servopack se puede programar en tres diferentes velocidades, las cuales se cargarán una vez que se obtenga la relación mecánica de avance, siendo las velocidades propuestas:

VELOCIDAD	DESCRIPCION	DESPLAZAMIENTO DEL CABEZAL
Velocidad 1ª.	Micro-avance de acercamiento.	0.003 cm./seg.
Velocidad 2ª.	Avance de retiro.	0.06 cm./seg.
Velocidad 3ª.	Avance de acercamiento.	0.3 cm./seg.
La relación de velocidad es:		$2^a = 20 (1^a)$
		$3^a = 0.5 (2^a)$

Figura 3.2.3.g Tablas de referencias de velocidades predeterminadas por programación.

Como ya fue mencionada la combinación de entradas de bits del servopack nos dará la velocidad deseada.

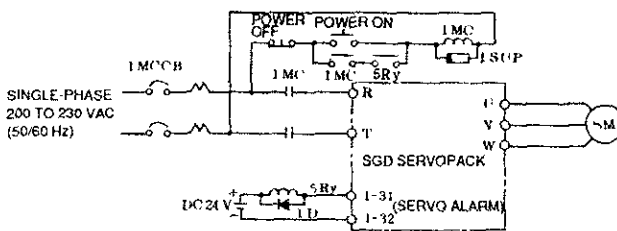
Reinicia Alarma (ALMRST)<sup>22</sup>.

Esta es una señal externa de reinicio de alarma del servo, elimina la causa de la señal antes de iniciar la operación; por seguridad, cargar la referencia de velocidad a 0V. Cuando se introduzca la señal de reinicio.

<sup>22</sup> Ibid pg. 26

## ALIMENTACIÓN DE POTENCIA ENCENDIDO Y APAGADO

El siguiente diagrama muestra el ejemplo de secuencia para encendido y apagado y apagado<sup>23</sup>.



1SUP, 2SUP : Surge suppressor

1D : Free-wheel diode (to prevent 5Ry spike)

Figura 3.2.3.h Ejemplo de conexión para encendido y apagado del servo

Precauciones para realizar la conexión de la figura anterior:

- Asegurarse de que el circuito principal pueda apagar la señal de alarma<sup>24</sup>.
- Si la alimentación es frecuentemente prendida y apagada, la resistencia de limite de corriente se puede dañar y una mala función ocurre. Cuando el motor arranca, encienda la referencia de velocidad y apáguela cuando el motor se detenga, "no apagar la energía del dispositivo".
- SGD01BS → Power Holding Time 10 seg. Max. Value.

## REFERENCIA DE VELOCIDAD<sup>25</sup>

Desde una fuente de alimentación externa, el voltaje de referencia de velocidad es proporcionado a la entrada 1CN-3 y 4, como a continuación se muestra.

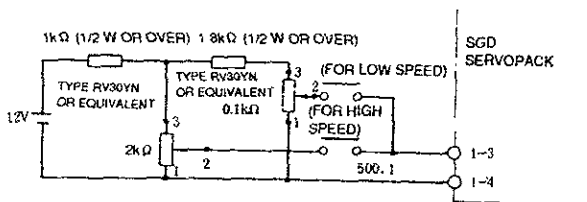


Figura 3.2.3.i Método para proporcionar el voltaje de referencia de velocidad.

<sup>23</sup> Ibid Manual, Σseries SGM/SGD, pg. 39

<sup>24</sup> Ibid pg. 63, sección 6.5.4.

<sup>25</sup> Ibid pg. 41

### **CIRCUITO DE REFERENCIA DE PARO.<sup>26</sup>**

Cuando se da una referencia de paro, no se debe abrir el circuito de referencia de velocidad (donde 1CN-3 se carga a 0 Volts).

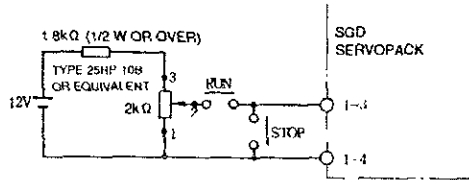


Figura 3.2.3.i Método para proporcionar el voltaje de referencia de paro.

### **OPERACIÓN DE MARCHA.<sup>27</sup>**

El motor puede ser manejado desde el operador digital sin necesidad de introducir la referencia de velocidad. La velocidad de marcha (rev/min), puede ser variada dependiendo del valor de la constante de usuario Cn-10.

### **CARGA EXTERNA DEL CONTROL DE VELOCIDAD<sup>28</sup>.**

El modo externo de carga de control de velocidad puede ser seleccionado por el bit 2 de la constante de usuario Cn-02.

En este modo, el valor de entrada (1ª a 3ª velocidades) se especifica por las constantes de usuario Cn-1F a Cn-21 que pueden modificarse.

Para seleccionar las velocidades, se usarán las terminales de contacto P-CL y N-CL, para especificar la dirección de rotación, se usará la terminal P-CON de entrada.

### **MODO CONTROL DE TORQUE.<sup>29</sup>**

En este modo el laso de velocidad es desconectado y el motor se maneja por la referencia de torque, existen dos modos de torque, que son el control de torque I y control de torque II, los cuales se seleccionan por la carga de los bits A y D de la constante de usuario Cn-01, el diagrama empleado para ejemplificar, es el mismo que el de la referencia de velocidad, con la diferencia que es conectado a las terminales 1-1 y 1-2 del servopack.

<sup>26</sup> Ibid pg. 42

<sup>27</sup> Ibid pg. 44

<sup>28</sup> Ibid pg. 44

<sup>29</sup> Ibid pgs. 45-46

Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

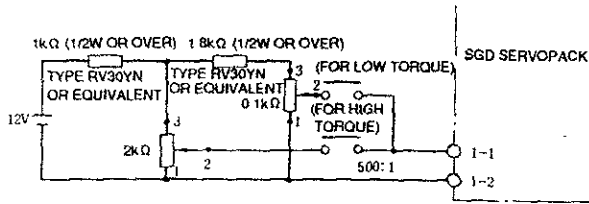


Figura 3.2.3.k Método para proporcionar el voltaje de referencia de torque.

Retomando las siguientes tablas para poder asignar el código de control de velocidades y poder realizar la conexión física eléctrica-electrónica de las señales desde el control al servopack, ambas tablas muestran la combinación de señales eléctricas para interruptor seco en el servopack, la primera para el control de velocidad y la segunda para el control de dirección.

VELOCIDAD	N-CL	P-CL
1ª	1	0
2ª	1	1
3ª	0	1
PARO	0	0

← Micro-avance

← velocidad de retro (avance rápido)

← Avance rápido de acercamiento

← Paro

DIRECCIÓN	P-CON
FRENTE	0
REVERSA	1

ON -1

OFF - 0

Figura 3.2.3.l Tabla de conmutación de velocidad y dirección.

Entonces si deseamos activar el modo de dirección del cabezal y la velocidad de retro, consideremos que la señal en el punto (A) del circuito detector, activará un relevador por medio de un acoplamiento amplificador, dicho relevador tiene capacidad para manejar 3 salidas en interruptor normalmente abierto.

Se puede agregar al circuito un interruptor directo de la fuente de voltaje de control para aplicar un modo manual el cual debe estar protegido de operar simultáneamente al modo automático, con esto logramos que el electrodo conectado al husillo del cabezal se retire automáticamente y del emisor del transistor T20 se obtiene la señal del punto (B) que acopla o desacopla el sistema de operación automática del servopack y del autómata. Además en especial para este circuito debe existir un contador de retro para limpieza en el control, de forma que cada vez que suceda una sobre tensión o sobrecorriente le indique a ésta el estado de limpieza, se sugiere que sea de por lo menos 4 segundos, función que ayuda a la limpieza del área de trabajo.

### **3.2.4. Módulo de Sistema de Seguridad y Protección.**

Este módulo tiene como finalidad la implementación de un sistema en el cual se contemplan los elementos necesarios que permitan reducir el número de riesgos y daños que pueda ocasionar la operación de la máquina, todos aquellos elementos que lo integren deben estar calculados adecuadamente ya que los valores obtenidos así como su diseño proporcionarían una mayor vida útil a sus partes integrantes, también como a los operadores o usuarios les reducirá el riesgo de un accidente, debido a que esta máquina maneja voltajes y corrientes elevados, de la misma forma reduce la cantidad de servicios preventivos y correctivos manteniendo una operación constante y segura, además este sistema cuenta con dispositivos de medición que permiten monitorear los parámetros eléctricos de operación en la descarga eléctrica.

Este módulo será integrado por los siguientes sistemas:

*Sistema de las líneas de entrada.* Compuesto principalmente por un arreglo de cables que conectan la máquina a las líneas de suministro externo por un extremo, mientras que por el otro tiene conectados en serie los siguientes dispositivos: Cuchillas mecánicas, fusibles e interruptores termomagnéticos, todos ellos con la función de proteger de sobrecargas externas e internas a la máquina, este sistema es el que debe contar el lugar donde será operada la máquina.

*Sistema de Paro-Arranque automático y manual.* Este sistema consiste en una conexión de elementos que darán acceso a una corriente y voltaje de alimentación para la operación de la máquina, de acuerdo a las siguientes etapas.

*Interruptor principal.-* este elemento polariza todos los elementos de control y monitoreo (fuentes de voltaje), así como al sistema de ventilación e iluminación, permitiendo calibrar, posicionar, ajustar al dispositivo dentro de los parámetros requeridos de operación la capacidad de corriente debe ser la considerada para polarizar toda la máquina mas la energía suficiente de operación y una tolerancia mínima del 60% de la capacidad total calculada.

*Interruptor del sistema de carga y descarga del fluido dieléctrico.-* Esta etapa pone en marcha la bomba principal del fluido dieléctrico para ajustar la densidad de caudal necesario para el trabajo de erosión así como el nivel máximo de fluido en las condiciones de operación deseadas.

*Interruptor del sistema de descarga eléctrica (Amplificador de Potencia).* - Este interruptor actuará cuando el interruptor principal este activado, condición que permite alimentar el interruptor de energía para la corriente en el electrodo, el cual, por medio de un arreglo alámbrico proporcionará una línea de tensión conectada en paralelo con el interruptor de alimentación del sistema del servomando.

*Interruptor de la corriente en el electrodo.-* Este interruptor actúa una vez que el interruptor del sistema de descarga eléctrica ha sido activado, con el fin de proteger

## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón,

de cortos circuitos accidentales o descargas eléctricas no contempladas, además de restringir la operación del servomando, es decir, cuando este interruptor no está cerrado el conmutador del servomando por medio de una señal hará que este actúe en forma ascendente con una velocidad constante evitando los riesgos ya mencionados. Y si se encuentra cerrado envía otra señal al conmutador del servomando para que este actúe de forma descendente y realice las funciones establecidas.

*Interruptor de polarización del servomando.*- Energiza con voltaje y corriente el dispositivo de control que dará movimiento al cabezal del electrodo (servopack), y actuará de forma combinada con un control automático/manual para efectuar el posicionamiento, esto es que cuando se este operando de forma manual se podrá posicionar el cabezal del electrodo sobre el área de trabajo para poder realizar una calibración, Al conmutarse en forma automática el cabezal se desplazara de acuerdo a las condiciones asignadas por medio de la posición de los interruptores y selectores.

Esta clase de interruptores consiste en un arreglo de un relevador, un contactor y una estación de botones, que operaran de la forma siguiente:

Después del arreglo principal de alimentación y protección de la acometida eléctrica y del sistema principal de interrupción de potencia de la máquina (cuchillas, fusibles e interruptores) se derivaran los circuitos de alimentación para cada uno de los sistemas antes mencionados pudiendo ser en dos fases de 220 Vac o de una fase 127 Vac. Estas líneas llegan en forma paralela a las zapatas del relevador electromagnético, unido también de forma paralela al contactor, que es un dispositivo de control, compuesto de dos partes, una que transfiere la corriente de línea y otra que sensa los parámetros de la misma, la segunda parte es un arreglo termomagnético conectado a un elemento bimetálico que actúa como interruptor cuando se sobrepasan los límites de los parámetros establecidos en su construcción y ajuste, esta parte se polariza al conectarse en serie con una de las líneas de alimentación que provienen del relevador y la salida de este se conecta también en serie al electromagnético del relevador, el cual por inducción magnética cierra el circuito de alimentación, por medio de la estación de botones se abrirá y se cerrara el circuito como se desee, el siguiente diagrama muestra la conexión de control y polarización, para cualquiera de los interruptores anteriores, cada interruptor será ajustado al nivel de potencia que requiera cada sistema.

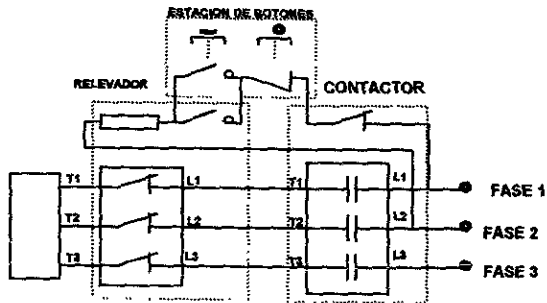


Figura 3.2.4.a Circuito eléctrico de un interruptor electromagnético.

Estos dispositivos cuentan también con elementos de seguridad como son: el preset para control de la corriente máxima de operación, un botón de reset, un elemento de comprobación de operación, placas conductoras, zapatas, elementos de fijación y diagramas de conexión.

#### **Sistema detector de cortocircuito.**

Este sistema está diseñado para censar una sobrecorriente en el electrodo y la pieza de trabajo, cuando por alguna razón los elementos antes mencionados ocasionan un contacto directo o las condiciones de operación se ven alteradas por los efectos de la erosión (carbón, escorias, etc.), al momento de suceder esto la demanda de corriente es mayor a los parámetros establecidos, cosa que si no es controlada dañaría de forma notable la operación y elementos del dispositivo, entonces el detector activará un sistema de seguridad que primero permitirá el retroceso de la cabeza del electrodo con el fin de llevar a cabo una limpieza del área de trabajo, si esto no soluciona el problema provocará que actúe un dispositivo de corte que anulará la operación de avance de trabajo del electrodo y la tensión en el mismo, activando una señal audible como indicador de corto circuito.

Esta señal también es necesaria para posicionar el electrodo y la pieza de trabajo, es decir permiten ajustar y calibrar los elementos para obtener un trabajo óptimo.



## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

### **Sistema de enfriamiento.**

Este sistema actúa desde que el interruptor principal del dispositivo es iniciado, con el fin de dar a los elementos electrónicos una condición ambiental adecuada de operación, reduciendo si fuera el caso la temperatura de operación.

Esta dividido en dos etapas, la primera es la antes descrita como una ventilación permanente del dispositivo, y la segunda etapa es aquella que se activará cuando el dispositivo inicie la etapa de super-acabado, la cual implementa a otro sistema de suministro de potencia, que será usado bajo condiciones especiales.

Los elementos que la integran son:

- Motores de inducción 120 Vca de 0.2 HP
- Aspas para ventilación
- Elementos de soporte y fijación.
- Elementos de conexión eléctrica.
- Sistema de protección.

### **Sistema de nivel de líquido dieléctrico.**

Este sistema es un arreglo de sensores de nivel y temperatura que entrega señales por medio de una interface al sistema de control este sistema verifica que el nivel de fluido nunca sea menor a 4cm. por encima del área de trabajo, y que la temperatura nunca se aproxime al punto de ignición del fluido dieléctrico, es importante recordar que las temperaturas que se alcanzan en el GAP superan 5000°C, temperatura suficiente para evaporar el metal, pero la temperatura que nos interesa es la del valor promedio en la tina de trabajo, y gracias al movimiento proporcionado por las válvulas de incidencia podemos censar esta temperatura del fluido, en la distancia existente entre el punto de trabajo y la pared más cercana de la tina.

Los elementos que la integran son:

- Termocople.
- Circuito sensor.
- Flotador.
- Microswitch.
- Elementos de soporte y fijación.
- Elementos de conexión eléctrica.

### **Sistema de sobrecorriente y sobretensiones.**

Este sistema relaciona las señales de sobrecorriente y sobretensiones de los dispositivos de paro/arranque y de control permitiendo como ya se menciona una decisión lógica entre una pausa en la operación o la desactivación parcial o total de los sistemas. Es un sistema retroalimentando que verifica las condiciones críticas de operación.

Es correcto acoplar elementos de estado sólido Transistores de Potencia o SCR en las líneas de paso de corriente de los electromagnétos de cada uno de los interruptores de alimentación con el fin de cortar los suministros de cada dispositivo según sea el caso, la señal de falla será la que limite a la compuerta de disparo o a la base del elemento.

### **Sistema de indicadores (monitor).**

Este sistema permite por medio de señales luminosas y carátulas de instrumentos de medición observar las condiciones de operación y detectar la fuente o naturaleza de un problema que se suscite dentro de las funciones del dispositivo, se recomienda principalmente mostrar la operación de los elementos de potencia, las fallas a tierra, cortocircuitos, voltaje y corriente de trabajo, así como el número de elementos o tarjetas activas involucradas en la operación, para poder mantener un monitoreo adecuado de los parámetros del dispositivo. Esto principalmente es necesario para evitar esfuerzos o errores inadecuados en la máquina.

Estos sistemas pueden estar contenidos unos dentro de otros o trabajar en forma paralela, simultanea o aislada.

Hacer referencia del diagrama general eléctrico de la máquina

### **3.2.5. Módulo del Sistema de Control.**

Este módulo tiene una relación sumamente importante con todos los sistemas constitutivos de la máquina ya que de este depende la operación de la misma. El siguiente diagrama muestra en bloques dicha relación.

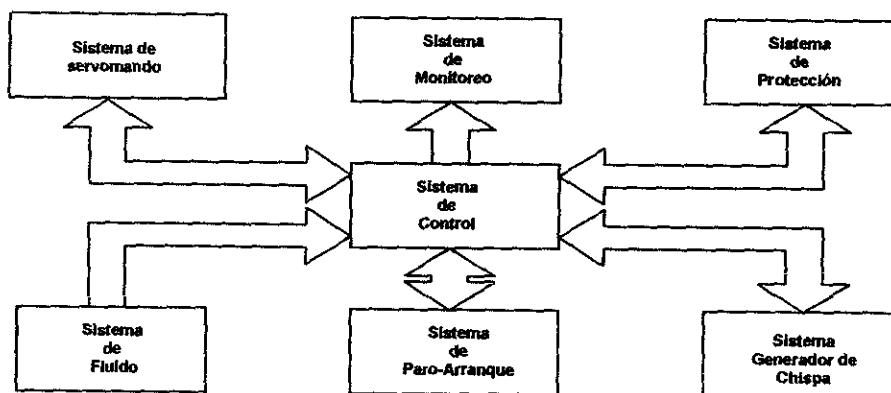


Figura 3.2.5.a Diagrama de Bloques del Sistema de Control.

Como se observa del sistema de control dependen los demás sistemas para ejecutar sus funciones, notamos que esta máquina se compone de siete sistemas principales, que son: El sistema de control, el sistema de servomando, el sistema de monitoreo, el sistema de protección, el sistema de fluido dieléctrico, el sistema de paro-arranque y el sistema generador de chispa, existen otros sistemas que tienen que ver con el sistema de control, tal es el caso del sistema de suministro eléctrico, pero lo consideramos implícitamente, ya que sin él la máquina no funcionaría, así mismo consideramos el tablero de control que teniéndolo en cuenta correctamente es un sistema de entrada y permite variar las condiciones de operación de la máquina, esta íntimamente ligado con el sistema de control.

Observamos en el diagrama de bloques que el sistema de monitoreo únicamente es vía de salida para el sistema de control, otros sistemas son rutas por los cuales pasará información a manera de entrada, caso del sistema de nivel de fluido y el dispositivo de paro-arranque, mientras que otros sistemas son retroalimentados, los cuales intercambian señales con el fin de operar y monitorearse para que de esta forma se puedan tomar decisiones lógicas que den paso a funciones específicas en el proceso tanto de seguridad, protección y operación, en estos casos podemos considerar al sistema generador de chispa, el sistema de servomando y el sistema de protección.

Teniendo en cuenta las características básicas de operación de la máquina y considerando la diversidad de opciones que se pueden implementar para el control de la máquina, es necesario considerar lo siguiente:

- Cuenta con una fuente autoregulada y estabilizada.
- Cuenta con un sistema de servo-control industrial (especializado).

## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

- La operación general no es compleja a pesar de que opera con diferentes variables.
- Sus características físicas mecánicas están limitadas para los trabajos de alta precisión, quedando ubicada como una máquina de desempeño medio, es decir, ejecuta trabajos de buen acabado, con buena precisión.

Por lo anterior consideramos que el sistema de control no tiene que ser demasiado robusto, ya que se cuenta con equipo especializado, por lo que solo es necesario acoplar los diferentes sistemas en uno solo, descartando muchas opciones de control y adoptando el uso de un *REGISTRO DE CORRIMIENTO PARALELO DE 4 BITS, BIDIRECCIONAL* para el manejo de la máquina conocido como 74LS194, con toda la circuitería necesaria para su operación que será descrita mas adelante.

### **3.2.6. Módulo de la estructura.**

En todo proyecto, según su tamaño y la complejidad de su estructura, se tiene un cierto número de unidades de montaje, es decir, conjuntos y elementos, por lo que, debemos buscar que las piezas componentes sean intercambiables, ya que existe un gran número de elementos de máquinas que siendo del mismo tipo, pueden ser acopladas en una gran diversidad de máquinas y desempeñar iguales funciones.

Partiendo de las condiciones previstas que deben cumplir las partes del proyecto, deben examinarse los medios, reglas y estándares que aseguren las formas y dimensiones más útiles y ventajosas de los elementos, la selección de materiales, el grado de precisión, la calidad de superficies y la determinación de los requisitos técnicos de su fabricación. De tal manera, el desarrollo de proyectos está estrechamente ligado con:<sup>30</sup>

- a) La mecánica teórica, la teoría de mecanismos y las máquinas, que permiten determinar las fuerzas que actúan sobre los elementos y las leyes de sus movimientos.
- b) La resistencia de materiales que permite calcular la resistencia mecánica, rigidez y estabilidad de los elementos de máquinas.
- c) La tecnología de materiales que proporciona la información requerida para elegir de modo razonable el material de los elementos.
- d) La tecnología de los procesos de fundición, forja y soldadura, así como la de tratamientos térmicos y mecánicos.
- e) Dibujo auxiliado por computadora.

El desarrollo de la estructura de las piezas está estrechamente ligado al desarrollo técnico de las máquinas en general. La construcción de máquinas y procesos se perfecciona continuamente, de acuerdo con las nuevas exigencias que imponen las condiciones de explotación, producción y las nuevas posibilidades que se habien en el desarrollo de la ciencia y con la aparición de nuevos materiales, éstos difieren ampliamente en propiedades físicas, características de maquinabilidad, método de formado y vida útil. Durante el desarrollo del proyecto, debemos considerar todos estos conceptos con el fin de que podamos seleccionar los materiales y los procesos de manufactura más económicos.

Siempre debemos de tener en cuenta que los requisitos principales de funcionamiento y productividad de los proyectos modernos, que determinan la construcción de los mismos son:

- El mayor rendimiento posible de las máquinas, así como la mayor potencia y economía de los motores.
- Sencillez de mantenimiento, funcionamiento duradero y sin fallas.

---

<sup>30</sup> Ing. Carlos Duran G. Apuntes de la materia, Diseño de máquinas. Periodo 97-1

## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

- Que la fabricación de los elementos mecánicos requiera el mínimo de trabajo, materiales y otros recursos.

También debemos de tener en cuenta las siguientes particularidades durante el desarrollo de proyectos:

- El cambio de los mecanismos con movimiento alternativo por los de rotación uniforme.
- El uso de estructuras prefabricadas.
- La utilización de accionamientos eléctricos, hidráulicos y neumáticos y la reducción del peso específico de los elementos.

### La estructura básica:

En la figura 3.2.6.a, se muestran algunos ejemplos de las estructuras básicas con las que se construyen algunas máquinas herramientas. Las que se encuentran en el plano horizontal se denominan bancadas y las que se encuentran en el plano vertical se denominan columnas.<sup>31</sup>

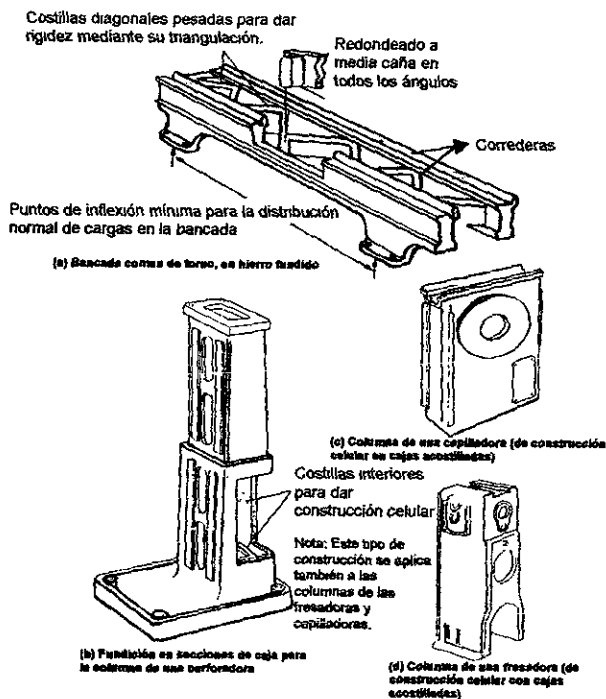


Figura 3.2.6.a Bancadas y columnas de máquinas.

<sup>31</sup> R.L. Timings. Tecnología de la fabricación Editorial Alfaomega.

## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

La mayor parte de las máquinas de descarga eléctrica son parecidas a las fresadoras verticales (figura 3.2.6.b). Estas tienen; base, bancada, cabezal y mesa de coordenadas. La base, en el caso de la electroerosionadora, tiene un tanque para el fluido dieléctrico. La columna sostiene el cabezal directamente sobre la pieza. Esta se dirige mediante una mesa de coordenadas colocada abajo de la tina del trabajo, la cual contiene un fluido dieléctrico que rodea la pieza durante el proceso de maquinado.<sup>32</sup>

- 1.- Columna.
- 2.- Cabezal.
- 3.- Mesa de coordenadas.
- 4.- Tina de trabajo.
- 5.- Deposito del dieléctrico.
- 6.- Generador.

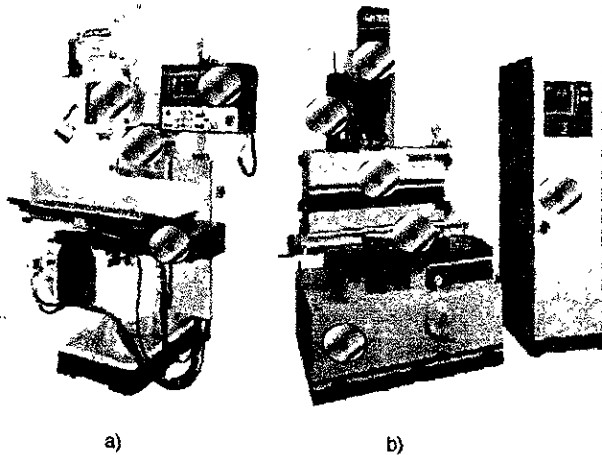


Figura 3.2.6.b Similitud entre máquinas. a) Máquina fresadora vertical CN, b) Máquina de descarga eléctrica

En el maquinado por electroerosión no se generan presiones de corte por lo que podemos fabricar un prototipo acorde al proceso, con propiedades de fuerza (para resistir el peso de los subensambles, de la pieza y del electrodo), rigidez (con la finalidad de que no pueda desviarse la posición entre el electrodo y la pieza de trabajo por el peso del material) y estabilidad de manera que no se deforme por la lenta liberación de las tensiones internas o por cambios en su estructura cristalina a lo largo de su vida de trabajo.

De lo anterior se deduce que las propiedades del material del cual se construye una estructura, afectan tanto a su elección como a su diseño, ya que deben satisfacer las condiciones de resistencia y rigidez, necesarias para lograr una buena estabilidad térmica y mecánica<sup>33</sup>. Estos requisitos se cumplen mediante el empleo de fundiciones de hierro de alta calidad, fuertemente acostilladas, o de

<sup>32</sup> Amstead B.H Procesos de manufactura. Editorial, CECSA

<sup>33</sup> Ferdinand L. Singer, Andrew Pytel. Resistencia de Materiales. Editorial HARLA.

## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón

construcción celular (figura 3.2.6.a), ya que es un material con alta resistencia mecánica, elevada tenacidad cíclica, alto límite de fatiga, buenas cualidades de moldeo, etc., también se ha probado el acero para la construcción de las máquinas herramientas, pero este material tiene las desventajas siguientes:

- Por ser más fuerte y costoso que el hierro fundido, el diseñador se ve tentado a utilizar secciones más delgadas, y que, por lo tanto, no son tan rígidas.
- Cuando está fundido, es más viscoso (como melaza) que el hierro fundido, y no fluye bien cuando el molde es complicado.
- Cuando se utiliza en placas para la fabricación, solamente pueden formarse con éstas "cajas cuadradas" lo que limita las posibilidades de diseño.
- No es un buen material para soporte, de forma que tienen que agregarse a la estructura básica placas antifricción, con objeto de formar las correderas.
- Es un material resonante y no amortigua las vibraciones como el hierro fundido.

Se le utiliza ampliamente para bases soldadas de gabinetes y para soportar las bancadas y las columnas de las máquinas herramientas pequeñas a una altura conveniente para el trabajo. Una aplicación en la que el acero es superior al hierro fundido es la correspondiente a las armaduras de las grandes prensas de potencia utilizadas en la industria del estampado de metal en laminas.<sup>34</sup>

En la construcción de prototipos de máquinas se utiliza regularmente el tubo cuadrado (PTR), debido a las ventajas que ofrece sobre otros perfiles, las cuales son:

- Sus excelentes cualidades de resistencia, que permiten aligerar mucho las estructuras, con la consiguiente disminución de costo.
- En estructuras de máquinas expuestas (y que, por lo tanto, han de pintarse) la operación de pintar presenta las mayores facilidades, pues basta con pintar el tubo exteriormente.
- Da al diseño una impresión de uniformidad y ligereza, y por lo tanto, mejora la estética del diseño industrial, que hoy se tiene muy en cuenta.
- A veces el tubo, por ser hueco, puede aprovecharse para cumplir otras funciones dentro de la máquina: por ejemplo, en una pala mecánica, el bastidor de tubo puede servir a la vez como depósito y canalización del aire comprimido necesario para su accionamiento.<sup>35</sup>

Por estas razones, la elección que se tomó para realizar la estructura del prototipo fue la de utilizar PTR de 1½", pues, además de que cumple con los requisitos de resistencia y rigidez necesarios, el material utilizado se encontraba disponible en las bodegas del laboratorio L-1. Para unir la estructura, se utilizó la técnica de soldadura por arco, donde la unión es producida por el calentamiento con

---

<sup>34</sup> . R.L. Timings. Tecnología de la fabricación Editorial, Alfaomega

<sup>35</sup> Elementos de máquinas. Editorial CEAC 1980.



## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

un arco entre un electrodo metálico protegido y las piezas de trabajo, la protección se logra con la descomposición de la cubierta del electrodo. No se requiere hacer presión y el metal de relleno se obtiene del electrodo. Es importante observar que el material del electrodo es a menudo el más resistente, por ejemplo, si se suelda una barra de acero AISI 1010 a una de acero 1018, el metal soldante es en realidad una mezcla de material electrodico y de los aceros 1010 y 1018. Además, las propiedades según el estirado en frío de una barra soldada quedan sustituidas por las de laminado en caliente en las cercanías de la junta de soldadura. Esta técnica de soldadura es utilizada en muchas áreas, particularmente en la fabricación de maquinaria, equipo de transporte, sistema de tubería y en varias estructuras (edificios, armaduras, bases de máquinas, etc.), debido a que es un proceso económico y sencillo.<sup>36</sup>

La estructura del prototipo fue diseñada, de tal manera, que fuera lo más compacta posible, cuidando de que todos los módulos de la máquina tuvieran el espacio necesario para su ubicación. La descripción general de la estructura se muestra en la figura 3.2.6.c, en esta, se puede apreciar la ubicación de los diferentes módulos que intervienen en el prototipo, como son el sistema del cabezal, el monitor, el sistema de control, la ventilación, el módulo de descarga eléctrica, la fuente de alimentación, el depósito del dieléctrico y la mesa de coordenadas. En los planos de fabricación se hace referencia a todas las dimensiones y especificaciones para corte y ensamble de las piezas.

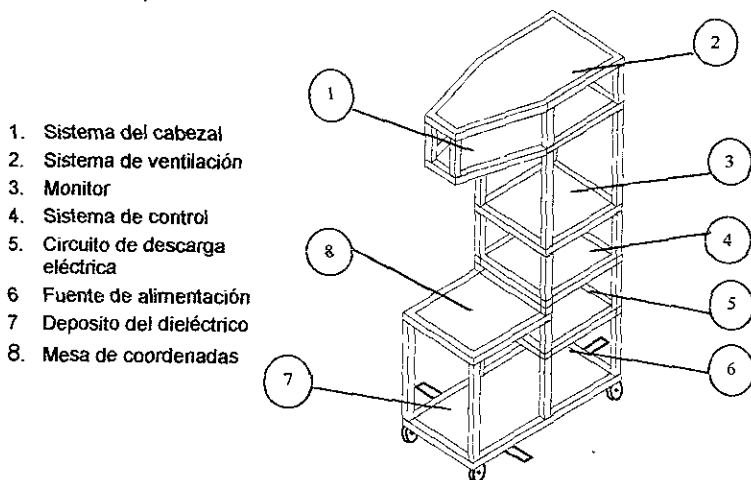


Figura 3.2.6.c Descripción general de la estructura del prototipo.

<sup>36</sup> J. E. Shigley, C R Mischke. Diseño en ingeniería mecánica. Editorial, McGraw-Hill.

### Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

Con el fin de que se pueda trasladar fácilmente el prototipo de un lugar a otro, se le instalaron cuatro ruedas a la estructura. Cuando la máquina llegue al lugar de trabajo, el peso total del prototipo será transferido al piso por medio de tres discos de nivelación (figura 3.2.6.d). El máximo peso que pueden soportar estos discos niveladores es de aproximadamente 500 kilogramos.

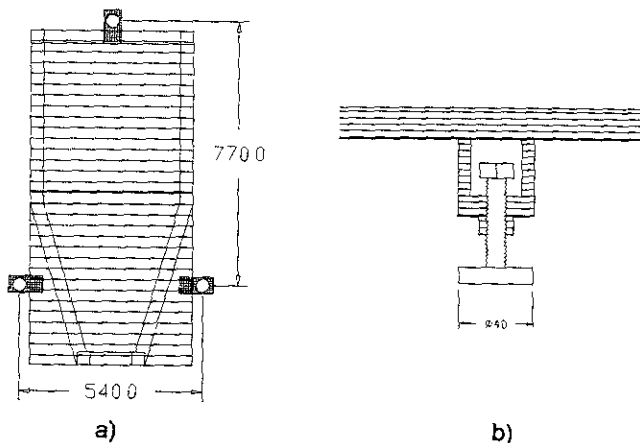


Figura 3.2.6.d Discos niveladores del prototipo: a) Vista superior de la estructura. b) Detalle del disco de nivelación.

La máquina no necesita cimentación especial, sin embargo, debe ser capaz de transferir un peso mínimo de 1 tonelada por metro cuadrado ( $10 \text{ kN/m}^2$ ) y resistir una presión de carga de  $60 \text{ N/cm}^2$ , la cual, es derivada de la carga de operación (500 kg) de la máquina, transferida a 3 soportes niveladores cada uno con un área de  $12.5 \text{ cm}^2$ . Los tornillos niveladores que transfieren el peso de la máquina al piso, tienen el propósito de nivelar el prototipo, éstos deben ser girados, hasta que una gota de nivelación colocada en el frente y otra colocada en el lado derecho del prototipo, muestren una desviación desde la horizontal menor que  $0.1 \text{ mm/m}$ .

El prototipo de electroerosión cuenta con un sistema de iluminación, el cual esta compuesto de tres elementos básicos, estos son; base, brazo y foco. La longitud total es de 80 cm, y puede colocarse cerca del lugar de trabajo para ayudar a un buen alineamiento de la pieza y el electrodo. El interruptor de la lampara se encuentra el panel de control de la máquina. El foco de la lampara es de gas por lo que se reduce el consumo de energía.

### 3.2.7. Modulo de circulación del dieléctrico.

La circulación del líquido dieléctrico condiciona la estabilidad del proceso, es decir el avance regular del electrodo a la pieza. Las partículas sólidas arrancadas de la pieza a mecanizar y la degradación de los hidrocarburos utilizados como dieléctrico, aumentan la conductividad del líquido y el centelleo regular se convierte en arcos que producen irregularidades en la superficie de la pieza a mecanizar como se muestra en la figura 3.2.7.a.<sup>37</sup>

La superficie de las piezas electroerosionadas quedan con un aspecto ligeramente mate. Esta característica es debido al singular procedimiento que utiliza la electroerosión para eliminar metal en la pieza a mecanizar, donde quedan como diminutos cráteres. La modificación de la microestructura superficial de las piezas metálicas debida al mecanizado por electroerosión queda reflejada en la existencia de dos capas; una capa blanca superficial heterogénea de 400 a 1000 HV dentritica, la que evidencia que se trata de material fundido y resolidificado, y una capa intermedia que no ha experimentado el efecto térmico de la capa blanca, pero que se ha endurecido por temple (acero al carbón) o temple y revenido (acero susceptible de endurecimiento secundario).<sup>38</sup>

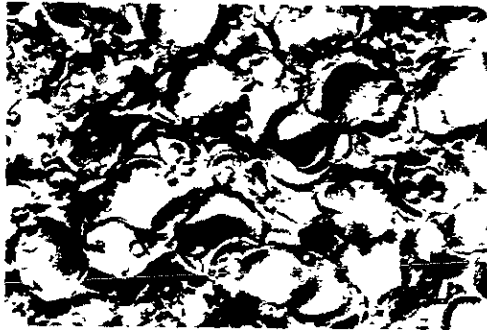


Figura 3.2.7.a Microestructura de la superficie de un electrodo de grafito (amplificación 50X).

De lo anterior radica la importancia de circulación del dieléctrico, en cuanto a su velocidad conviene destacar que influye considerablemente en la cantidad de material arrancado de la pieza a mecanizar y en el desgaste del electrodo. En la figura 3.2.7.b, se aprecian los valores aproximados y relativos del arranque de material en la pieza a mecanizar y de desgaste en el electrodo de cobre electrolítico,

<sup>37</sup> Pere Molera Solá. Electromecanizado. Editorial, Marcombo.

<sup>38</sup> Y. S. Wong, L. C. Lim. Journal Materials Processing Technology. Near-mirror-finish phenomenon in EDM. (feb-1997)

### Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón

para la electroerosión del acero, en función del flujo del dieléctrico, la gráfica muestra los valores de la velocidad de electroerosión ( $\text{mm}^3/\text{min}$ ) y del desgaste del electrodo en función del flujo de dieléctrico ( $\text{l}/\text{min}$ ). Esta gráfica nos muestra que para un arranque óptimo de material, el caudal debe ser aproximadamente de 1.5 litros/min, si el caudal fuera menor o mayor a esta cantidad, el arranque de material descendería notoriamente, para un caudal mínimo el desgaste del electrodo es poco resultando un proceso tardado y costoso, para un caudal mayor el desgaste en el electrodo aumenta hasta llegar a un arranque de material máximo (1.5 litros/min), si seguimos aumentando el caudal el desgaste en el electrodo crece y el arranque de material disminuye, minimizando la eficiencia del proceso.<sup>39</sup>

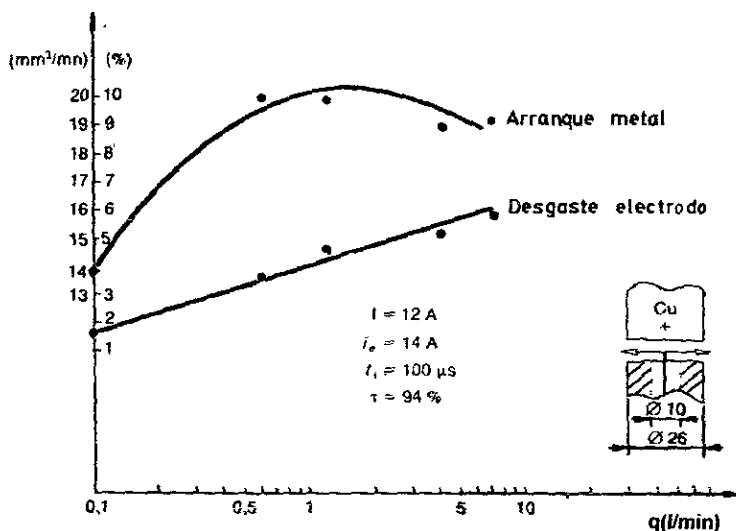


Figura 3.2.7.b Valores aproximados y relativos del arranque de material en la pieza a mecanizar y desgaste en el electrodo, en función del flujo del dieléctrico.

En resumen, el sistema de circulación del dieléctrico, tiene la función de hacer circular y filtrar el fluido dieléctrico, para mantener las condiciones de temperatura, limpieza y rigidez dieléctrica que son necesarias durante el proceso, además da movimiento y proporciona presión al fluido dieléctrico para que este realice funciones de limpieza y refrigeración en la zona de trabajo. Los componentes básicos (figura 3.2.7.c) de este sistema son; bomba de circulación, fluido dieléctrico, filtro, válvulas

<sup>39</sup> Pere Molera Solá Electromecanizado, Editorial, Marcombo.

## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

reguladoras, instrumentos de medición de caudal y presión, tubería, depósito de almacenamiento, tina de trabajo, y boquilla.

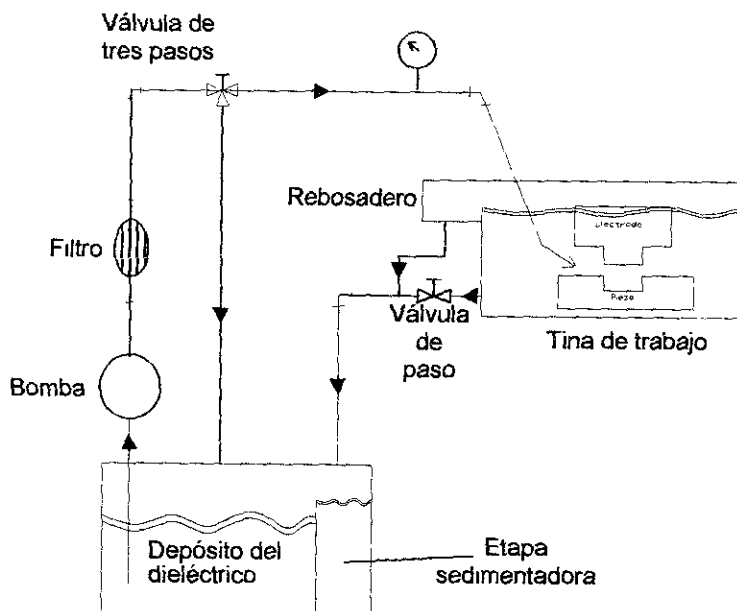


Figura 3.2.7.c Sistema de circulación del dieléctrico.

El depósito de almacenamiento del dieléctrico se elaboró en lamina negra (figura 3.2.7.d) con las siguientes medidas; 40 cm x 36 cm x 35 cm de altura, y con una capacidad de 28 litros, además cuenta con una etapa sedimentadora, en la cual el líquido dieléctrico entra en un estado de reposo relativo y la mayor parte de las partículas, producto de la electroerosión se sedimentan, al llenarse ésta etapa, el líquido se desborda pasando a la parte donde se encuentra una bomba de tipo rotoestático con una potencia de  $\frac{1}{4}$  HP, que está conectada al depósito del filtro del dieléctrico en el que las partículas más pequeñas y livianas se almacenan en el filtro de papel, su salida está dirigida por medio de ductos a la tina de trabajo, en la que, la pieza y el electrodo son limpiados, esta mezcla de dieléctrico y residuos del maquinado pasan a la etapa sedimentadora del depósito del dieléctrico, iniciándose el ciclo nuevamente.

La mejor opción para regular la presión del líquido en la zona de trabajo es, colocar una válvula de tres pasos que soporte una presión de hasta 60 psi, canalizando el fluido hacia la zona de trabajo y/o hacia el depósito del dieléctrico

### Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

según el trabajo que se realice, con ello evitamos que se sobrecargue la bomba al restringir el flujo del dieléctrico con una simple válvula de paso.

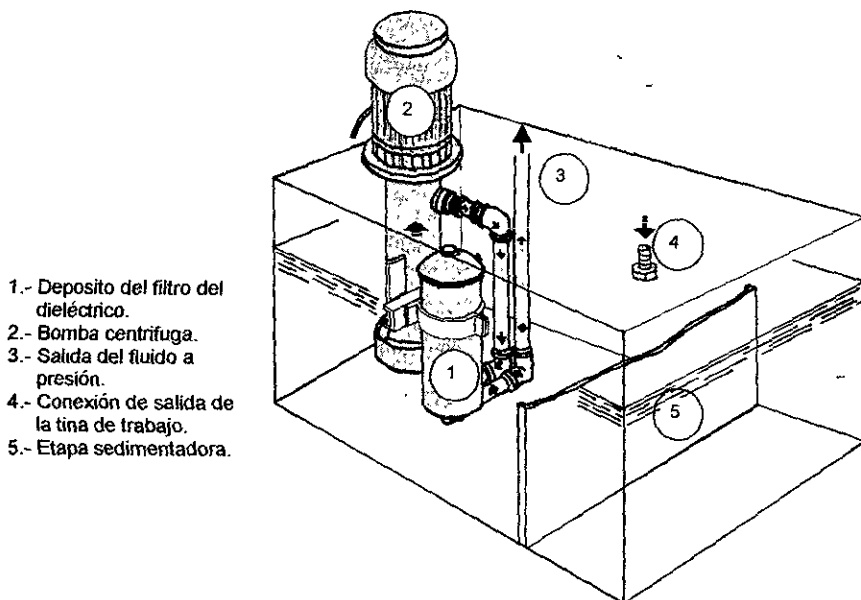


Figura 3.2.7.d Depósito del dieléctrico.

La red de conductos o tuberías por los que circulara el dieléctrico, además de ser de un material anticorrosivo, debe ajustarse a las necesidades de presión y caudal que se tengan en la unidad. Enseguida se dan los tipos y características de tuberías que más comúnmente son usadas en esta clase de sistemas.

- Tuberías de cobre.- alta resistencia mecánica, poca flexibilidad y bajo grado de corrosión.
- Tubería de cloruro de polivinilo (PVC).- disponible en diámetros grandes y presenta nula corrosión.
- Tubería de polietileno (manguera CONDUIT).- alta capacidad de deformación, baja resistencia mecánica y muy bajo costo.
- Tubería de acero bajo carbón (galvanizada).- alta resistencia mecánica, muy poca flexibilidad, bajo grado de corrosión, pero muy elevado costo.
- Tubería de caucho reforzado.- para altas presiones, con una gran flexibilidad y costo elevado.<sup>40</sup>

<sup>40</sup> Chavez del Valle Porfirio. Diseño y fabricación del prototipo de un equipo para maquinado de metales por descarga eléctrica. Tesis, 1992. ENEP Aragón

### Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

Se recomienda usar tubería de polietileno de  $\frac{1}{2}$  " de diámetro, pues además de ser de bajo costo, su alta capacidad de deformación ayuda en la colocación de la boquilla cerca del lugar de trabajo.

Durante el proceso de maquinado por descarga eléctrica, la pieza y el electrodo se sumergen en un aceite dieléctrico. Este aceite, tiene tres funciones básicas. Primero, el aceite enfría a la pieza y al electrodo. Sin dieléctrico, las partículas metálicas se pegan ya sea a la herramienta de corte o a la pieza, y el calor de esta transferencia destruye a la pieza. Segundo, el aceite forma una barrera dieléctrica entre electrodo y pieza. Esto quiere decir que el aceite es aislante hasta que se alcanza el voltaje suficiente para hacer que se descomponga y permita que se establezca la chispa. Los aceites dieléctricos son semejantes a los aceites delgados, o al petróleo, y por lo general tienen una fuerza dieléctrica de 250 volts (V) por milésima de pulgada (0.001" o 0.025 mm). Por tanto, un aceite dieléctrico de 250 V/mil con el electrodo a 0.001" (0.025 mm) alejado de la pieza necesita 250 V para establecer la chispa.

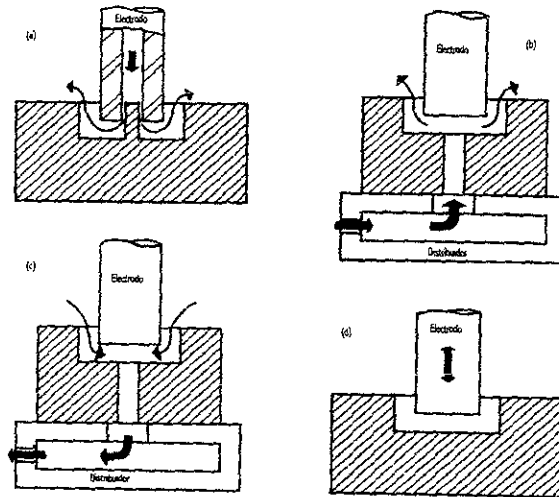


Figura 3.2.7.e (a) El método de lavado a presión impulsa al enfriador por un electrodo hueco. (b) El método de lavado por flujo inverso impulsa al enfriador un cabezal y un agujero ya maquinado en la pieza. (c) Con el método de flujo al vacío se usa vacío parcial para succionar el enfriador y hacerlo pasar al electrodo. (d) En el método de lavado por vibración se pone a vibrar el electrodo hacia arriba y abajo.

Se usan voltajes de 80 a 100 V en el proceso de electroerosión, por lo que se necesita de un espacio muy estrecho entre la herramienta y la pieza. Cuando se tiene un hueco tan estrecho, cualquier partícula diminuta de metal, procedente del

## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

proceso de erosión, puede poner al sistema en cortocircuito. Para evitar que las partículas metálicas pongan en corto al sistema, el fluido transporta a las partículas y las aleja del electrodo y la pieza, ésta es la tercera función del aceite dieléctrico. La remoción de partículas metálicas de la chispa es quizá el factor más importante en el erosionado eficiente por descarga eléctrica.<sup>41</sup>

Hay cuatro métodos básicos para forzar el fluido a través del arco eléctrico. Estas técnicas de lavado (fig. 3.2.7.e), son: a presión, flujo inverso, al vacío y por vibración. El método a presión (fig. 3.2.7.e (a)) impulsa al líquido por un electrodo hueco. En este método las partículas de metal se arrastran rápidamente alejándose de la zona de erosionado. El electrodo hueco tiene también la ventaja de disminuir el tiempo de maquinado porque se quita menos metal y se desprende un núcleo cuando el electrodo avanza por la pieza.

El método de lavado de flujo inverso se muestra en la fig. 3.2.7.e (b), y se usa cuando la pieza tiene un agujero ya erosionado. El aceite se pasa a presión a través de un cabezal y la pieza. La ventaja principal de esta técnica de lavado es que las partículas de metal se arrastran de los lados de la pieza y el electrodo, disminuyendo la posibilidad de cortocircuitos. El método de flujo al vacío también se usa cuando la pieza ya tiene un agujero maquinado. Se usa un vacío parcial para succionar al aceite dieléctrico a través del electrodo, pasando por el arco y la pieza (fig. 3.2.7.e (c)). La técnica de flujo al vacío mejora la eficiencia de erosionado, reduce la producción de humos y ayuda a reducir la conicidad en la pieza.

En algunos casos no será posible tener un agujero de enfriador ya sea en la pieza o en el electrodo. Cuando se deben maquinar cavidades, agujeros ciegos o ranuras profundas se prefiere el método de vibración. En este método, se hace vibrar al electrodo provocando una acción de bombeo que agita las partículas metálicas y las saca del arco [fig. 3.2.7.e (d)]. Esto necesita que la máquina de descarga tenga aditamentos especiales para hacer vibrar al electrodo.

Cada técnica de lavado que se ha descrito tiene el mismo objetivo que es el de sacar las partículas metálicas de la zona del arco para mejorar la eficiencia del proceso de maquinado por descarga eléctrica. En nuestro caso emplearemos la técnica de lavado a presión, pero el dieléctrico no se aplicará por un electrodo hueco, sino que, será por un lado de este, por medio de una boquilla dirigida hacia la zona de maquinado.

El prototipo no cuenta con aditamentos especiales para los otros tipos de lavado, pero se pueden integrar con trabajos de servicio social o de tesis, como por ejemplo, el método de lavado por vibración, en donde se pone a vibrar el electrodo en forma vertical por medio de un electromán, con una frecuencia de entre 50 y 100 Hertz. Este dispositivo podría ser instalado en la parte inferior del husillo, acoplado el dispositivo al broquero.

---

<sup>41</sup> Amstead B.H. Procesos de manufactura Editorial, CECSA



### 3.2.8. Módulo del sistema del cabezal.

Este módulo tiene la finalidad de proporcionar el movimiento al electrodo en el trabajo de electroerosión, esto es, posicionar el electrodo, mantener el GAP (5 a 45 micras aproximadamente) y retirar el electrodo de la pieza de trabajo, el GAP y la velocidad de avance pueden variar considerablemente dependiendo de las condiciones de trabajo como son; el material de la pieza de trabajo, el material del electrodo, el tipo de dieléctrico y las características eléctricas de la descarga.

El sistema de avance del electrodo por su principio de funcionamiento puede ser de tres tipos; electromagnético, electromecánico o servocontrolado automáticamente (figura 3.2.8.a). El de tipo electromagnético esta compuesto básicamente por un solenoide y un núcleo ferromagnético y solo se puede utilizar cuando el sistema de descarga eléctrica funciona en base a la carga y descarga de un banco de capacitores. El servocontrolado automáticamente es el que proporciona mayor precisión, estabilidad y control, ya que el movimiento se efectúa mediante un sistema que puede ser eléctrico o hidráulico, sistema que a su vez es controlado por un servomecanismo de control automático. En el avance de tipo electromecánico la alimentación el electrodo se realiza mediante un motor eléctrico acoplado a un tren de engranes y este a su vez a una cremallera la cual transmite el movimiento lineal a la herramienta (electrodo).<sup>42</sup>

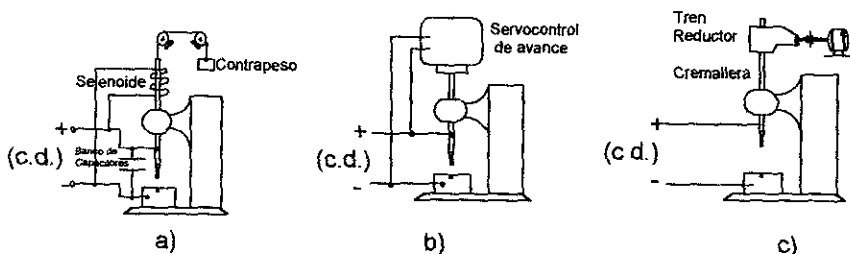


Figura 3.2.8.a Sistema de avance del electrodo: a) Avance electromagnético. b) Avance servocontrolado automáticamente. c) Avance electromecánico

El sistema de avance que se considero para el prototipo de la máquina de electroerosión fase II, fue el de avance servocontrolado automáticamente. Los otros dos sistemas no se consideraron debido a que, en el de avance electromagnético hay muy poca precisión en el avance del electrodo, además de que nuestro sistema de descarga eléctrica no se basa únicamente en la descarga de un banco de

<sup>42</sup> Chavez del Valle Porfirio. Diseño y fabricación del prototipo de un equipo para maquinado de metales por descarga eléctrica. Tesis 1992 ENEP Aragón

## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

capacitores, en el de avance electromecánico las fallas de estabilidad, control y precisión son mas frecuentes.

Una descripción mas detallada del funcionamiento del sistema de avance servocontrolado automáticamente es la siguiente; la herramienta de corte avanza y retrocede mediante un sistema de servomecanismo con una camisa o corredera. El sistema servo se puede controlar en forma hidráulica o eléctrica. La función de la unidad de control en el sistema del servomecanismo es mantener una distancia constante entre el electrodo y la pieza, esto lo hace comparando el voltaje entre la pieza y el electrodo, con un voltaje de referencia en el suministro de corriente.

El servomecanismo acerca el electrodo hacia la pieza hasta que se obtiene el voltaje de referencia, punto en que se inicia el maquinado. Sin embargo, si baja el voltaje, la unidad de servomecanismo retrae el electrodo de la pieza hasta obtener de nuevo el voltaje de referencia. Por lo general, la caída de voltaje se presenta cuando hay partículas entre el electrodo y la pieza que ponen al sistema en cortocircuito. Una vez que se retiran las partículas de metal mediante el fluido dieléctrico, la unidad servo acerca de nuevo el electrodo hacia la pieza.<sup>43</sup>

En las máquinas-herramientas, para la transmisión del movimiento rectilíneo se emplean fundamentalmente, los siguientes mecanismos; de cremallera con rueda dentada; de tornillo sin fin con cremallera; de husillo roscado con tuerca de excéntrica; dispositivos hidráulicos; así como electromagnéticos de tipo solenoide.<sup>44</sup>

- El mecanismo de cremallera con rueda dentada se emplea para la propulsión del movimiento principal y los avances; así como para el accionamiento de diferentes movimientos secundarios
- Mecanismo de tornillo sin fin y con cremallera, podemos indicar dos tipos de esta transmisión con el tornillo sin fin dispuesto bajo ángulo determinado con respecto a la cremallera; lo que permite (con objeto de que la transmisión sea mas suave) aumentar el diámetro de la rueda dentada que acciona el tornillo sin fin y con disposición paralela; en un mismo plano, de los ejes del tornillo sin fin y la cremallera; es decir, cuando ésta funciona como si fuera una tuerca alargada con ángulo reducido de contacto con el tornillo sin fin. Las condiciones de trabajo de esta transmisión son mas favorables que las de la transmisión de cremallera con rueda dentada.
- El husillo roscado con tuerca es un mecanismo con gran aplicación para efectuar movimientos rectilíneos. Con este mecanismo, se puede realizar el movimiento lento del accionamiento de los avances.

<sup>43</sup> Amstead B. H. Procesos de manufactura. Editorial CECSA. 1982

<sup>44</sup> Máquinas herramientas I, Elementos generales. Editorial Gustavo Gili.

Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

- Par, husillo roscado con tuerca con cuerpos de rodadura (figura 3.2.8.b). Hoy en día, los pares de rozamiento tienden a sustituirse por pares de rodadura ya que en los primeros hay pérdidas considerables a causa del rozamiento en la rosca y por consiguiente elevado desgaste. Las transmisiones de rodadura, ocasionan pequeñas pérdidas por la fricción; alcanzan alto rendimiento y además en ellas pueden ser liquidadas las holguras en la rosca; a cuenta de la creación de carga previa. Por regla general; en estos tipos de transmisiones se utilizan dispositivos para liquidar el juego y crear carga previa.
- Los mecanismos de excéntrica que transforman el movimiento de rotación en movimiento rectilíneo se emplean; principalmente en máquinas-herramientas automáticas. Existen mecanismos con excéntricas planas y de tambor.

1. Tornillo de bola.
2. Rodamiento.
3. Tubos de retorno
4. Tuerca

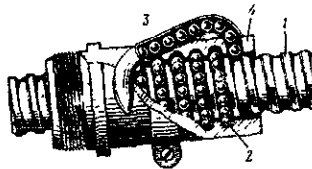


Figura 3.2.8.b Vista en corte de un tornillo con rodamientos.

El diseño que se propuso para el cabezal del prototipo fue parecido al de la Máquina de Electroerosión AGIE Plus, Generador K, 1969 (figura 3.2.8.c), con la que se trabajó durante la estancia de practicas profesionales en la empresa Beaultelspaucher S. A., en el periodo de octubre a diciembre de 1997.

En esta máquina (AGIE Plus, Generador K), el movimiento es generado por el motor de corriente directa (12), el giro es transmitido por el tren de engranes hacia el embrague electromagnético(9), pasando a un par de engranes cónicos (7), que forman un ángulo de 90° entre sí, la rueda dentada cónica inferior esta unida a un tornillo, al momento de girar éste, pone en movimiento al husillo (2), el cual esta unido a la tuerca (1) del tornillo. De esta manera se le proporciona un movimiento rectilíneo vertical al electrodo, originado por el giro del motor de c.d. La columna (15), tiene como finalidad el mantener el movimiento rectilíneo vertical, pues de lo contrario el husillo tendería a girar. La unidad de medida (18), esta compuesta por la columna (15), un micrómetro, un micro-switch y una columna graduada. El micrómetro sirve para regular la profundidad, al llegar a ésta, el micrómetro acciona el micro-switch y la máquina se apaga. La manivela (4), tiene como función aproximar el electrodo hacia la pieza de trabajo, para iniciar la electroerosión.

1. Tuerca para adelanto del husillo
2. Husillo
3. Caja de engranajes.
4. Manivela para el adelanto por mano
5. Cubierta de la caja de engranajes
6. Tornillo para el retroceso en el bisel del par de engranes.
7. Bisel de engranes
8. El embrague electromagnético
9. Tornillo (3 fuera) para el anillo de fricción
10. Anillo de fricción
11. El embrague electromagnético (ver 8)
12. Motor y tren de engranes
13. Carbones del motor (2 fuera)
14. Husillo de trabajo
15. Columna .
16. Manejo del plato.
17. Tornillos para el ajuste fino
18. Unidad de medida.
19. Lámpara de trabajo para STM, unidad de fuente de alimentación.
20. Switch de seguridad para revertir el movimiento "On"."Off"

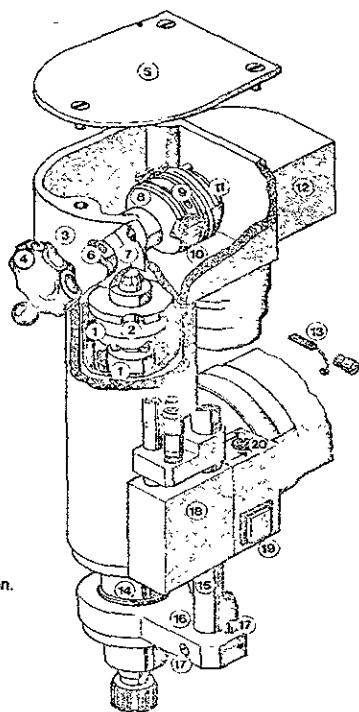


Figura 3.2.8.c Cabezal de la Máquina de Electroerosión AGIE Plus, Generador K.

El elemento del cual partimos para el diseño del módulo del cabezal, es el servomotor Yaskawa de 0.13 HP (figura 3.2.8.d.), que es controlado por medio del Servopak (unidad de control) y por un operador digital, los cuales se encuentran en el panel de control (monitor), del prototipo II (figura 3.2.6.c). También contamos con un embrague electromagnético de 24 V c.d.

Lo primero que realizamos fue un esquema cinemático (figura 3.2.8.e), que es la representación convencional de la iteración de sus elementos y mecanismos de la máquina-herramienta que actúan en la transmisión de los movimientos de diversos órganos. Para confeccionar los esquemas cinemáticos se emplean símbolos, de los cuales, los principales se dan en el apéndice E. Los esquemas cinemáticos se diseñan con escala arbitraria, sin embargo, se tiende a inscribir el esquema cinemático en los límites de la proyección principal de la máquina herramienta o de sus grupos principales.<sup>45</sup> Después de una serie de esquemas se optó por el de la figura 3.2.8.e, ya que debido a su sencillez, economía y facilidad en su fabricación,

<sup>45</sup> B. Balankshin. Fundamento de la construcción de maquinaria. Editorial, MIR Moscú

Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

resulta superior a otros, sin que afecte la exactitud y la precisión en el movimiento del husillo.

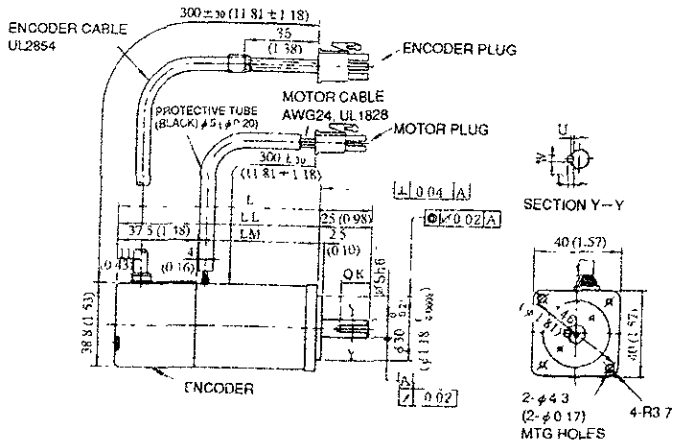


Figura 3.2.8.d Servomotor Yaskawa.

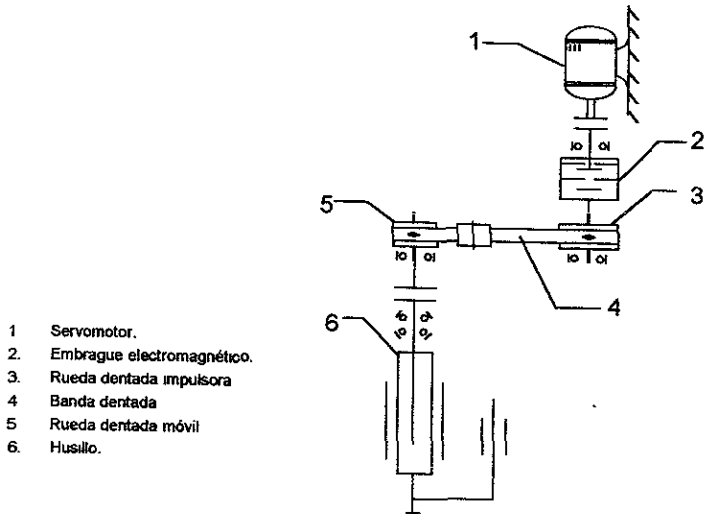


Figura 3.2.8.e Esquema cinemático del módulo del cabezal

## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

En este caso el servomotor (1) transmite el movimiento al husillo (6) mediante la banda dentada (4), que enlaza al engrane posterior (3), solidario al embrague electromagnético (2), con el tornillo unido a la rueda dentada móvil (5), el cual da movimiento rectilíneo al husillo. Calculando las relaciones de transmisión de los elementos descritos se tiene que, el engrane impulsor es de un diámetro de  $1\frac{1}{4}$ " y el engrane móvil tiene  $1\frac{1}{16}$ " de diámetro, dando una relación de 1.18, el tornillo tiene un diámetro de  $\frac{3}{4}$ " y 10 hilos por pulgada, lo que significa que por cada revolución del tornillo, el husillo avanzará linealmente 2.54mm, y por cada revolución del servomotor el husillo avanzará 2.9mm.

El peso máximo del portaelectrodo, del electrodo y de la unidad de medida, se calcula en 2 kg, el momento de giro y la carga axial están relacionados entre sí mediante la siguiente ecuación para avance contra carga (o elevando la carga):<sup>46</sup>

$$T = W \left[ r_m \left( \frac{\tan \alpha + f / \cos \theta_n}{1 - f \tan \alpha / \cos \theta_n} + f_c r_c \right) \right]$$

donde

T = momento aplicado para girar el tornillo o la tuerca, cualquiera que sea el que se esté girando

W = carga paralela al eje del tornillo

$r_m$  = radio medio de la rosca

$r_c$  = radio efectivo de la superficie de rozamiento contra la cual se apoya la carga, llamado radio del collar

f = coeficiente de rozamiento entre las roscas del tornillo y la tuerca

$f_c$  = coeficiente de rozamiento en el collar

$\alpha$  = ángulo de la hélice de la rosca en el radio medio

$\theta_n$  = ángulo entre la tangente al perfil del diente (sobre el lado cargado) y una línea racial, medido en un plano normal a la hélice de la rosca en el radio medio.

El momento requerido para avanzar el tornillo (o la tuerca) en el sentido de la carga (o descendiendo la carga) es

$$T = W \left[ r_m \left( \frac{\tan \alpha - f / \cos \theta_n}{1 + f \tan \alpha / \cos \theta_n} + f_c r_c \right) \right]$$

Este momento puede ser positivo o negativo. Si es positivo, debe efectuarse trabajo para avanzar el tornillo, si es negativo, significa que en equilibrio el momento debe retardar la rotación, o sea, que la carga axial aisladamente producirá rotación, se dice que en este caso, el tornillo debe sobrecargarse, o que sufrirá arrastre. El momento de torsión requerido para elevar la carga es:

$$T = W \left[ r_m \left( \frac{\tan \alpha + f / \cos \theta_n}{1 - f \tan \alpha / \cos \theta_n} + f_c r_c \right) \right]$$

donde

<sup>46</sup> Allen S. H., Alfred R. H. Teoría y problemas de diseño de máquinas. Editorial, McGraw-Hill.

FALTA PAGINA

No. 111

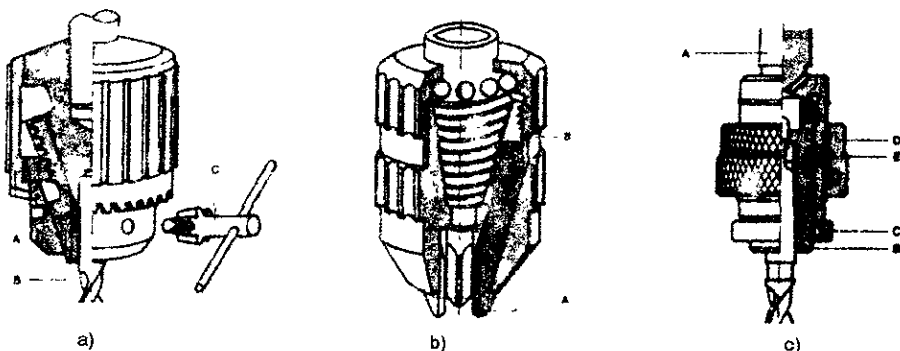


Figura 3.2.8.f Diferentes tipos de broqueros: a) Jacobs. b) Sin llave. c) De cambio rápido.

Para evitar una descarga eléctrica al usuario o a los componentes, se colocó un aislante entre el portaelectrodo y la máquina, este aislante es el nylamid que es un plástico de ingeniería con el que se pueden fabricar partes y refacciones de maquinaria y equipos de la industria en general. Las aplicaciones están en función de sus propiedades y las necesidades específicas del usuario, entre las más comunes se encuentran las siguientes: engranes, chumaceras, poleas, ruedas, catarinas, rodillos, guías de desgaste, etc., comprobado con otros materiales nylamid es:

- más fácil de maquinar que el celorón el bronce y el acero.
- de menor coeficiente de fricción que el bronce el celorón y otros polímeros.
- más resistente a la corrosión que el celorón el bronce y el acero.
- más resistente al impacto que el bronce el teflon y otros polímeros.
- más eficaz para la eliminación de ruidos que el celorón el bronce y el acero.
- más resistente a la abrasión que el celorón el bronce y el acero.

Desde un enfoque mecánico nylamid ofrece:

- resistencia al desgaste: absorbe cargas que pueden fracturar a los metales
- resistencia dieléctrica: por sus propiedades aislante, es un material idóneo para ser aplicado en equipos eléctricos
- seguridad: no produce chispas y es autoextinguible

El husillo, así como los demás elementos del módulo del cabezal (tornillo, broquero, aislante, servomotor, embrague electromagnético, banda dentada, rodamientos de bolas y ruedas dentadas), se encuentran a disposición en el Laboratorio de la ENEP Aragón, para trabajos de tesis o de servicio social que enriquezcan o trasciendan lo logrado.



### 3.2.9. Módulo de mesa de coordenadas y tina de trabajo

Este módulo es el encargado de posicionar la pieza de trabajo con el electrodo, la mesa de coordenadas es un arreglo mecánico que sirve para dar un movimiento en los planos de longitud y amplitud a la tina de trabajo con fin de acomodar la pieza de trabajo, también es útil cuando es una pieza de trabajo se tienen que realizar diversas perforaciones en serie, dando lugar a trabajos más precisos, esta mesa de coordenadas esta compuesta por dos planchas deslizantes que corren sobre guías en cola de milano y el movimiento es proporcionado por una manivela unidas a unos tornillos acme que pasan dentro de una turca partida sujeta a la base inmediata inferior de la plancha como referencia de desplazamiento, la tuerca partida tiene la facultad de poderse ajustar a fin de que con uso que ejerce un desgaste sobre las piezas de fricción, se elimine el juego producido en ellas manteniendo las condiciones de precisión adecuadas en el movimiento.

Una vía en cola de milano (figura 3.2.9.a), tiene superficies de deslizamiento horizontales y dispuestas en un plano con respecto a las cuales las que forman la cola de milano están inclinadas un ángulo de  $55^\circ$ . Como superficie de deslizamiento se eligen la mayor parte de las veces las superficies horizontales inferiores ya que las superiores o intermedias ofrecen mayor dificultad para su ajuste.<sup>46</sup>



Figura 3.2.9.a Superficies de deslizamiento y de guía en una vía de cola de milano.

Las vías en cola de milano, especialmente en guías de carros se construyen a veces de modo reajutable, para poder ajustar el juego de deslizamiento y para reajustar y compensar el desgaste. Las guías en cola de milano no regulables son más complicadas de ajustar que las regulables. Se prevén dispositivos especiales de apriete o inmovilización cuando tiene que eliminarse el juego de la guía del carro que trabaja en posición de reposo y no se requiere que las piezas inmovilizadas tengan ninguna posibilidad de movimiento de una respecto a la otra durante el trabajo. Con ello se tiene un buen contacto de superficies para conseguir una transmisión de fuerza segura y se evitan las vibraciones.

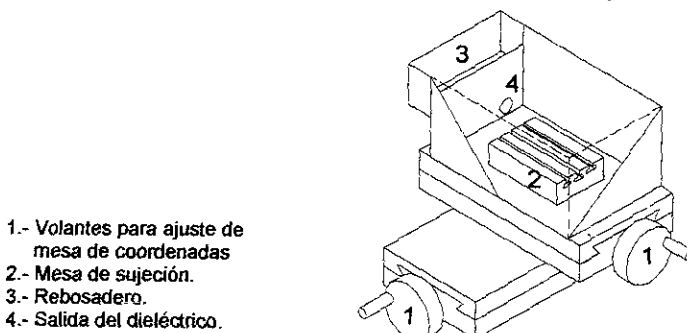
<sup>46</sup> Joseph Schrock. Montaje, ajuste y verificación de elementos de máquinas. Editorial, Reverte.



Figura 3.2.9.b Ejemplos de listones de ajuste: a) Listón de ajuste para vía en cola de milano. b) Listón de ajuste de cola de milano. c) Listón de ajuste de cola de milano con saliente. d) Listón prismático para vía en cola de milano. e) Listón en cola de milano para vía plana. f) Listón de presión para vía de sección prismática.

La mesa de coordenadas del prototipo II, se fabricó en los Laboratorios de la ENEP Aragón con la ayuda de estudiantes de la materia de Diseño de herramienta. Esta mesa fue hecha de placas de acero al carbón, maquinadas y unidas mediante pernos guía y tornillos de sujeción, los tornillos de cuerda ACME, convierten el movimiento rotacional en movimiento rectilíneo por medio de la tuerca partida, la cual esta unida a la placa adyacente de la mesa.

La tina de trabajo esta colocada sobre la mesa de coordenadas (figura 3.2.9 c), la cual es de dimensiones suficientes (25cm x 3cm x 15cm) para contener el volumen de dieléctrico necesario para que la pieza de trabajo quede completamente cubierta de liquido. El material de que esta construida la tina es PVC de  $\frac{1}{4}$ " de espesor. El PVC es un material de muy bajo peso, no conduce electricidad, anticorrosivo y resistente a impactos. Para sujetar la pieza de trabajo dentro de la tina, se utiliza una mesa con ranuras en T y bridas de sujeción. El nivel del liquido dieléctrico es controlado por la apertura de una válvula de bola de  $\frac{1}{2}$ " colocada abajo del rebosadero, el cual es un elemento de seguridad en caso de una obstrucción de la válvula, para que no se tire el liquido fuera de la tina de trabajo.



- 1.- Volantes para ajuste de mesa de coordenadas
- 2.- Mesa de sujeción.
- 3.- Rebosadero.
- 4.- Salida del dieléctrico.

Figura 3.2.9.c Tina de trabajo sobre la mesa de coordenadas.

### 3.3. Implementación de los módulos en un sólo sistema.

Todos los dispositivos y sistemas que integran esta máquina tienen una íntima relación física con la estructura debido a que cada uno de estos elementos requiere un espacio para ser situado, por lo tanto buscamos lograr una distribución adecuada de los mismos, logrando optimizar el espacio, reduciendo peso y buscando una buena apariencia.

#### 3.3.1. Relaciones de los diferentes módulos que integran el prototipo.

La relación que une a los diferentes módulos en un solo sistema es la relación física y la funcional. La relación física es la que se da mediante la unión o contacto entre dos o mas elementos, por ejemplo, la estructura con el módulo del cabezal. La relación funcional es la que une a diferentes módulos por medio de una señal de control, por ejemplo, el interruptor de fin de curso con el sistema de paro de arranque. A continuación mostramos el esquema de la estructura para montaje.

1. Sistema del cabezal
2. Sistema de ventilación
3. Monitor
4. Sistema de control
5. Circuito de descarga eléctrica
6. Fuente de alimentación
7. Deposito del dieléctrico
8. Mesa de coordenadas

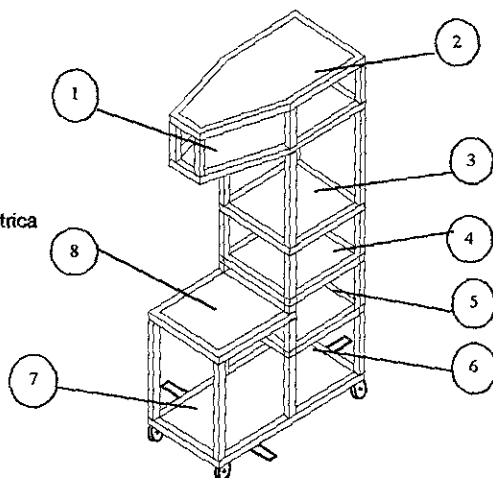


Figura 3.3.1.a Estructura básica del prototipo II.

El módulo del cabezal es el que se debe colocar en primera instancia, ya que es primordial para los demás módulos que intervienen en el proceso de movilización del electrodo, los cuales son, el sistema de control, el interruptor de fin de curso, así como el acoplamiento del servomotor al husillo.

A continuación se muestra un diagrama a bloques funcional donde podemos observar la relación existente entre cada sistema que integra esta máquina, las flechas muestran el tipo de relación existente pudiendo ser unidireccional para el

Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

caso de flechas con una sola punta y bidireccional para el caso de flechas de doble punta.

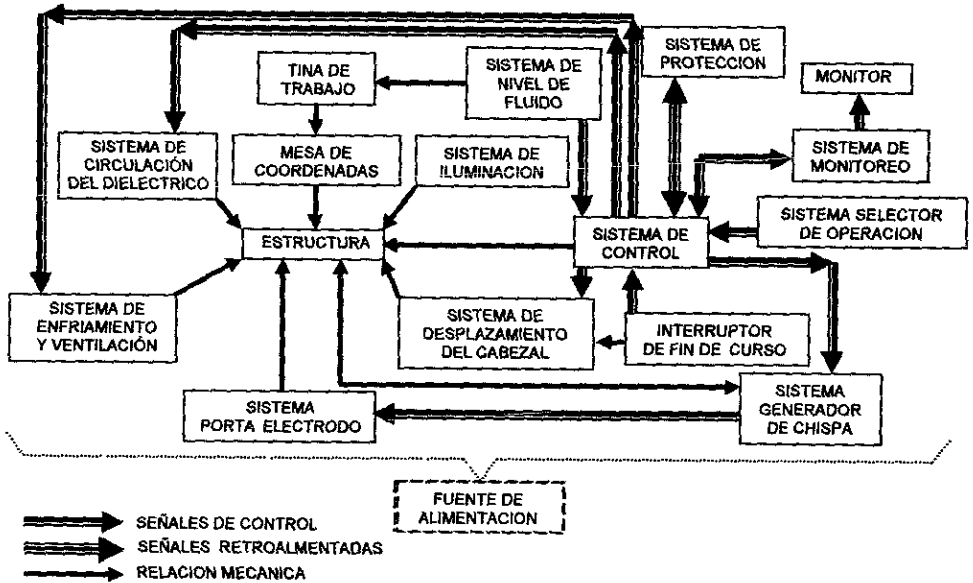


Figura 3.3.1.b Relación funcional de la máquina.

Existen en este esquema (figura 3.3.1.b) dos sistemas que se notan por su importancia y justificadamente es el motivo por la que dos áreas de la ingeniería están unidas para el desarrollo de esta tesis, los cuales son los elementos mecánicos y los elementos eléctricos, a los primeros corresponde la estructura, que como ya se dijo es el elemento donde todos los demás sistemas, dispositivos y elementos serán montados, optimizando el espacio con el que se cuenta y distribuyendo adecuadamente las superficies y cavidades se puede lograr una máquina eficiente y atractiva. El sistema de control pertenece a los segundos y su importancia radica en la capacidad de administrar las funciones operativas de la máquina, enfocándonos a este último tenemos:

La dependencia del sistema de control con el sistema de protección es total ya que si el control detecta alguna anomalía este debe anular la operación instantáneamente en la máquina, también debe ser capaz de censar o evaluar los desempeños de los demás sistemas garantizando así la vida útil de la máquina. El sistema de protección actúa con los elementos electromecánicos casi generalmente

## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

en conexión serie, es decir que los elementos tales como niveles de volumen, límite de desplazamiento o tapas de protección abren el circuito de polarización, apagando automáticamente las funciones de la máquina gracias a la característica de la conexión serie. En las funciones de control las situaciones de activación o desactivación de funciones dependerá del estado en que se encuentre el programa de trabajo e inclusive las condiciones operativas, entonces la conexión paralela es la adecuada en este caso, debido a que un dispositivo es capaz de ejecutar diferentes funciones simultáneamente tanto de entrada como de salida, por tanto al cumplirse una condición de error el control procede a anular el problema o en su defecto a desactivar las operaciones y para la situación de encontrarse operando correctamente, el control se apaga terminando la tarea programada.

La estructura, como ya se menciona recibe primero al cabezal, el cual está estrechamente ligado con el módulo del cabezal, esta es una de las relaciones más importantes, pues de esto depende que el sistema generador de chispa no entre en corto, al ponerse en contacto el electrodo con la pieza de trabajo.

La siguiente relación es la del sistema generador de chispa con el sistema de circulación del dieléctrico, esta relación es de tipo funcional, ya que las partículas generadas por la avalancha de chispa se tiene que retirar inmediatamente o de lo contrario se provocaría un corto circuito en el generador de chispa.

Otra relación es la del módulo de la mesa de coordenadas y el sistema portaelectrodo, ya que esta proporciona el buen alineamiento entre la pieza y el electrodo, logrando con ello un buen acabado.

Así, de esta manera, cada módulo tiene una función específica con otros u otros módulos, logrando formar con ello un solo sistema, este sistema es el prototipo de electroerosión fase II.

### 3.3.2. Relación de señales y conexión de elementos de control.

Toda la máquina en cuanto a su operación se comunica por medio de señales que pueden ser producto de un elemento sensor mecánico o eléctrico, que mediante un transductor transforma una señal mecánica en una señal eléctrica la cual mediante conductores es dirigida al sistema de control, quien procesará dicha información llevando al dispositivo al estado que la condición sugiera, las señales también pueden ser operativas producto de funciones propias de la máquina.

El control de la máquina se lleva acabo de la siguiente manera:

Primero determinamos las características de función en base al comportamiento común como ya fue descrito en capítulos anteriores, esto nos lleva al siguiente diagrama de flujo obtenido por análisis en base a los siguientes conceptos:

1. Al iniciar el autómata queda sujeto a las siguientes variables

F	Frecuencia de operación.
I	Intensidad de corriente.
TD	Tiempo de descarga
A/M	Modo de operación automático/manual
IFC1, IFC2	Interruptores de fin de curso activos.
NC-L, PC-L	Selección de velocidad en el servo-control.
SDAE	Señal del amplificador de error.
CTD	Contador de tiempo de descarga.
CTL	Contador de tiempo de limpieza.
BTCD	Bit tiempo correcto de descarga.
BTCL	Bit tiempo correcto de limpieza.
DCE	Detector de corriente en el electrodo.
CDI	Contador de descarga interno.
CLI	Contador de limpieza interno.
CCD	Código de corto circuito determinado.
SCC10	Señal de corto circuito de corte de operaciones
SCPD	Señal de corto circuito presente en el detector.
P-CON	Control de sentido de rotación del servomotor.
SV-ON	Activación del servo-control.

2.- Se define el modo de operación (A/M).

3.- Ya cargados los parámetros de operación se activa el modo automático e inicia el trabajo.

4.- Existe un cambio en las condiciones de operación al detectar la variable DCE, la velocidad de avance cambia a microavance. Si no se detecta corriente la máquina entra en un ciclo de avance al frente infinito o limitado por los IFC's.

5.- Al detectar DCE, se evalúa la presencia de un corto circuito (SDAE), si no existe corto circuito continua con su actividad, si hay presencia de corto circuito, la máquina

Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

cambia su condición de operación y pasa a una etapa de limpieza (CLI), entra en un ciclo de limpieza y al terminar vuelve a la condición DCE.

Lo anterior comenta el principio básico de operación de la máquina de electroerosión fase II. A continuación se muestra el diagrama de flujo y una descripción detallada del cada uno de sus estados. Los resultados que esto nos da es la obtención de un diagrama de estados que nos llevara a decidir la opción tecnológica para la implementación del autómatas.

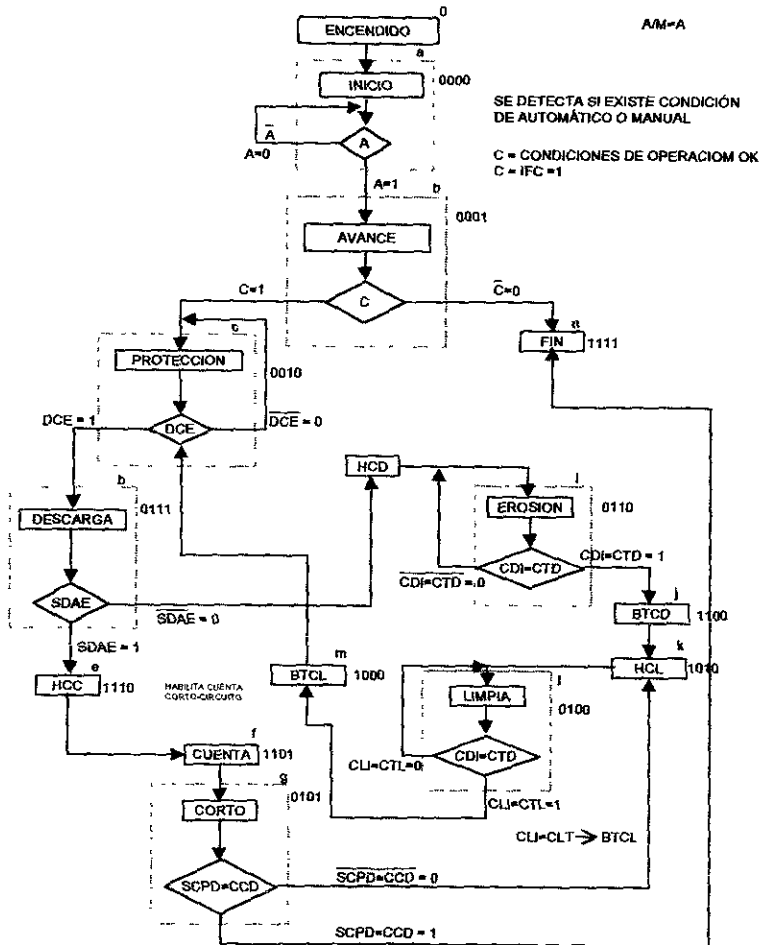


Figura 3.3.2.a Diagrama de flujo del sistema de control de la máquina de electroerosión prototipo fase II.

Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

**Descripción de los estados:**

**ESTADO  
ENCENDIDO**

**DESCRIPCIÓN**

Se enciende la máquina por medio del interruptor principal y queda en espera de algún cambio para iniciar sus operaciones, las condiciones iniciales son las siguientes:

**0 Estado inicial**

**Estado inicial**

**Interruptores  
de operación**

M/A=Manual  
CP = +/-  
IAP = 0  
ICE = 0  
IBP = 0  
IFC1=1  
IFC2=1

**Condiciones  
de operación iniciales**

CDI = 0  
BTCD = 0  
CLI = 0  
BTCL = 0  
SDAE = 0  
SCPD = 0  
HCC = 0  
DCE = 0  
IFC1 = 1  
IFC2 = 1  
A01 = 0  
A02 = 0  
A03 = 0  
SV - ON = 1  
P - CON = +  
N - OT = 1  
P - QT = 1  
ALM - RST = 1  
N - CL = 1  
P - CL = 1  
C = X

- a** En este punto la variable de cambio es, M = manual.- es el estado en que se hacen los ajustes, montan las piezas y posiciona el electrodo para realizar el trabajo, A = automático, la máquina opera automáticamente bajo condiciones establecidas por los selectores y perillas de entrada, en este estado la variable M/A (manual/automático) determina el estado de operación de la máquina, este es el segundo estado de operación y su cambio dependera de tener o no una pieza de trabajo montada, además de haber determinado la máxima carrera posible en los IFC's del husillo del cabezal, entonces para la condición M/A = M, el autómata conserva las condiciones iniciales antes mostradas.
- b** Si la variable M/A = A esta presente, el autómata cambia del estado a al estado **b**, implementa el **AVANCE AL FRENTE** del husillo del cabezal, polariza al servocontrol y da las condiciones de trabajo, quedando las condiciones de operación de la siguiente forma:

**Interruptores  
de operación**

Automático  
CP = +/-  
IAP = 1  
ICE = 1  
IBP = 1

**Condiciones  
de operación**

CDI = 0  
BTCD = 0  
CLI = 0  
BTCL = 0  
SDAE = 0



## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

IFC1=1	SCPD = 0
IFC2=1	HCC = 0
	DCE = 0
	IFC1 = 1
	IFC2 = 1
	A01 = 0
	A02 = 0
	A03 = 0
	SV - ON = 0 ←
	P - CON = 0 ←
	N - OT = 1 ←
	P - OT = 1
	ALM - RST = 1
	N - CL = 0 ←
	P - CL = 1
	C = X

Esta condición permanece hasta que en la variable C se detecta un cambio, entonces para la condición  $C = 0$ , el autómatas pasará del estado **b** al estado **n** que se conoce como **fin** de operaciones, si es detectado cambio alguno en las condiciones de operación de avance al frente.

Para la condición  $C = 1$

- c Si el autómatas no detecta cambio alguno en las condiciones de operación *avance al frente*, el autómatas pasa del estado **b** al estado **c** que se conoce como el estado de *DETECCION*, donde el cambio dependerá de la variable *DCE* (detección de corriente en el electrodo), entonces si  $DCE = 0$ , el autómatas indica a la máquina que entre en un ciclo de avance hasta detectar corriente en el electrodo, o si no sucediera que en ningún momento se apague la máquina, esto ocurre de la siguiente manera, para el segundo caso:

Las condiciones de operación al entrar a este estado son las condiciones de operación *AVANCE AL FRENTE*, si no existiera pieza de trabajo o electrodo alguno, la máquina ejerce un movimiento para acercar los electrodos, (situación no deseada), entonces para evitar la destrucción o daño en la máquina existen dispositivos llamados Interruptores de Fin de Curso (IFC), que limitan físicamente la máxima carrera del cabezal, impidiendo por medio del corte de una señal eléctrica el avance no deseado del husillo del cabezal, paralelamente existe dentro del programa del servocontrol la función del máximo desplazamiento del husillo, cuyas variables *N-OT* y *P-OT*, se activan por medio de un interruptor situado físicamente en forma paralela a los IFC, que cortan la polarización de los interruptores electromagnéticos<sup>49</sup>.

<sup>49</sup> Nota.- Los IFC's existen como un arreglo de seguridad, la propuesta de tener 2 físicamente montados en forma paralela es para garantizar tanto mecánicamente como electrónicamente la interrupción de operación en caso extremo. Los IFC's son microinterruptores que se activan con presión dos de ellos IFC1 e IFC2, se encuentran conectados en serie con el circuito de polarización de los interruptores principales, si se abre cualquiera (se encuentran en estado normalmente cerrado), cortan la alimentación eléctrica a los actuadores de los interruptores electromagnéticos MCCB2, MCCB3 y MCCB4, que actúan para el amplificador de potencia, corriente en el electrodo y servocontrol respectivamente, los IFC1' e IFC2' cortan dos señales de control *N-OT* y *P-OT*, que son el máximo desplazamiento permitido negativo y el máximo desplazamiento permitido positivo respectivamente, si el servocontrol no detecta estas señales o detecta un cambio de estado, interrumpe la operación del servomotor, mostrando un código de falla, evitando así la destrucción por descarga eléctrica o esfuerzo mecánico.

## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

Encontrándose el autómata en el estado **c** y cuando  $DCE = 0$ , el estado de las condiciones de operación de la máquina pueden cambiar de acuerdo a lo siguiente:

Si al encontrarse en un ciclo de avance al frente no se detecta la presencia de  $DCE = 1$ , puede llegar el momento de activarse cualquier IFC, si esto sucede las condiciones de operación de la máquina serán de la siguiente forma:

Interruptores de operación		Condiciones de operación
Automático		$CDI = 0$
$CP = +/-$		$BTC D = 0$
		$CLI = 0$
		$BTCL = 0$
		$SDAE = 0$
		$SCPD = 0$
		$HCC = 0$
		$DCE = 0$
		$IFC1 = 1 \Rightarrow 0$ según tabla
		$IFC2 = 1 \Rightarrow 0$ según tabla
		$AD1 = 1$
		$AD2 = 0$ } o cualquier otro código de error
		$AC3 = 1$
		$SV - ON = 1$
		$P - CON = 0$
		$N - OT = 1 \Rightarrow 0$ según tabla
		$P - OT = 1 \Rightarrow 0$ según tabla
		$ALM - RST = 1$
		$N - CL = 1$
		$P - CL = 1$
		$C = 1$

Con esto notamos que el autómata apaga por condición programada el resto de las funciones de la máquina y activa el resonador, sin desconectarla o apagarla totalmente quedando en espera de ser reiniciada, empezando por el servocontrol.

Para el caso de  $DCE = 1$

Al hacerse presente una corriente en los electrodos el autómata pasa del estado **c** al estado **d**

**d** Este es el estado de descarga, en este punto un dispositivo sensa la intensidad de la corriente que pasa a través de los electrodos, a la vez de que cambia las condiciones de operación, de un **AVANCE AL FRENTE** a un **MICROAVANCE** reduciendo significativamente la velocidad de desplazamiento del cabezal para llevar a cabo la erosión, existen dos casos para definir las condiciones de operación:

1.  $SDAE = 0$ , Que es la presencia de una corriente moderada en los electrodos y se encuentra dentro de los parámetros establecidos por configuración.
2.  $SDAE = 1$ , que es la presencia de una corriente muy elevada (corto circuito), que puede llevar a posibles daños en los elementos de la

Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

maquina.

Entonces las condiciones de operación serán:

Condiciones de operación	Interruptores de operación	Condiciones de operación
Para SDAE = 0	Automático CP = +/-	Para SDAE = 1
CDI = 1	IFC Abierto	CDI = 0
BTCD = 0	IFC Cerrado	BTCD = 0
CLI = 0	IAP = 0	CLI = 0
BTCL = 0	ICE = 0	BTCL = 0
SDAE = 0	IBP = 0	SDAE = 1
SCPD = 0		SCPD = 0
HCC = 0		HCC = 1
DCE = 1		DCE = 1
IFC1 = 1		IFC1 = 1
IFC2 = 1		IFC2 = 1
A01 = 0		A01 = 0
A02 = 0		A02 = 0
A03 = 0		A03 = 0
SV - ON = 0		SV - ON = 0
P - CON = 0		P - CON = 1
N - OT = 1		N - OT = 1
P - OT = 1		P - OT = 1
ALM - RST = 1		ALM - RST = 1
N - CL = 1		N - CL = 1
P - CL = 0		P - CL = 1
C = 1		C = 1

Para SDAE = 0, si no se detecta anomalía en la operación el autómata pasa del estado **d** al estado **h**.

Para SDAE = 1, al ser detectado un corto circuito en la operación el autómata pasa del estado **d** al estado **e**.

- e** Para el caso de cambio de estado **d** al estado **e**.

Una vez que se detecto un corto circuito, el autómata habilita el estado **e** conocido como **HABILITA CUENTA CORTO CIRCUITO (HCC)**, manda un estado alto al contador interno de corto circuito para activarlo, el estado de operación se encuentra en estado de velocidad de microavance y pasa entonces al estado de **VELOCIDAD DE REVERSA**, incondicionalmente pasa del estado **e** al estado **f**, conocido como estado **CUENTA**.

- f** Al entrar en este estado el autómata inicia una cuenta del número de veces que la máquina entra en corto circuito, e incondicionalmente pasa del estado **f** al estado **g** conocido como el estado de **CORTO**.

- g** En este estado el autómata inicia una comparación del número de veces que la máquina a estado en corto contra un dato cargado en un selector de repetitividad de evento de corto circuito (**CCD**), situado en el monitor, para cambiar de estado es necesario verificar dos condiciones que son: **SCPD = CCD = 1**, situación que al cumplirse el autómata pasa del estado **g** al estado **n** que indica el **FIN** de operaciones. Para la condición **SCPD = CCD = 0**, el autómata pasa del estado **g** al estado **k**, conocido como el estado de **HABILITACIÓN DEL CONTADOR DE LIMPIEZA (HCL)**.

Condiciones de operación	Interruptores de operación	Condiciones de operación
--------------------------	----------------------------	--------------------------

Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

Para SCPD = CCD = 0	Automático CP = +/-	Para SCPD = CCD = 1
HCD = 0	IFC	HCD = 0
CDI = 0	Abierto	CDI = 0
BTCD = 0	Cerrado	BTCD = 0
HCL = 1	IAP 0	HCL = 0
CLI = 0	ICE = 0	CLI = 0
BTCL = 0	IBP = 0	BTCL = 0
SDAE = 1		SDAE = 1
SCPD = 0		SCPD = 0
HCC = 0		HCC = 0
DCE = 1		DCE = 0
IFC1 = 1		IFC1 = 1
IFC2 = 1		IFC2 = 1
A01 = 0		A01 = 0
A02 = 0		A02 = 0
A03 = 0		A03 = 0
SV - ON = 0		SV - ON = 1
P - CON = 0		P - CON = 0
N - OT = 1		N - OT = 1
P - OT = 1		P - OT = 1
ALM - RST = 1		ALM - RST = 1
N - CL = 1		N - CL = 0
P - CL = 0		P - CL = 0
C = 1		C = 1

- h** A este estado se le conoce como el estado *HABILITADOR DE CUENTA DE DESCARGA (HCD)*, e incondicionalmente pasa al estado **i** conocido como el estado *EROSIÓN*, la máquina tiene en este estado condiciones de operación de velocidad de microavance como ya fue descrita en el estado **d**.
- i** En este estado el autómatas inicia una comparación de la cuenta de descarga interna *CDI*, con la cuenta de descarga del tiempo asignado desde el monitor *CTD*, para un cambio de estado es necesario cumplir con la condición  $CDI = CTD = 1$ , al ser efectiva el autómatas pasa del estado **i** al estado **j**, que es el estado indicador de que se a cumplido la condición de tiempo de erosión. Si la condición  $CDI = CTD = 0$ , el autómatas entra en un ciclo finito de descarga para erosión, hasta que el comparador detecta la igualdad  $CDI = CTD = 1$ , en este estado las condiciones de operación son:

**Interruptores  
de operación**

Automático  
CP = +/-  
IAP = 1  
ICE = 1  
IBP = 1

**Condiciones  
de operación**

CDI = 1  
BTCD = 1  
CLI = 0  
BTCL = 0  
SDAE = 0  
SCPD = 0  
HCC = 0  
DCE = 0  
IFC1 = 1  
IFC2 = 1  
A01 = 0  
A02 = 0  
A03 = 0  
SV - ON = 0  
P - CON = 0  
N - OT = 1  
P - OT = 1  
ALM - RST = 1

Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

N-CL = 1  
P-CL = 0  
C = 1

- j A este estado se le conoce como *BIT TIEMPO CORRECTO DE DESCARGA (BTCD)* que es un indicador que el autómata a cumplido con el periodo asignado de descarga, incondicionalmente pasa al estado k.
- k A este estado se le conoce como *HABILITADOR DE CUENTA DE LIMPIEZA (HCL)*, en este estado el autómata habilita el contador interno de periodo de limpieza, simultáneamente también habilita la velocidad reversa, incondicionalmente pasa al estado l.

Interruptores  
de operación

Condiciones  
de operación

Automático  
CP = +/-  
IAP = 1  
ICE = 1  
IBP = 1

CDI = 1  
BTCD = 1  
CLI = 0  
BTCL = 0  
HCL = 1  
SDAE = 0  
SCPD = 0  
HCC = 0  
DCE = 0  
IFC1 = 1  
IFC2 = 1  
AQ1 = 0  
AQ2 = 0  
AQ3 = 0  
SV-ON = 0  
P-CON = 0  
N-OT = 1  
P-OT = 1  
ALM-RST = 1  
N-CL = 0  
P-CL = 1  
C = 1

- l A este estado se le conoce como el estado *LIMPIA*, en este estado el autómata inicia una comparación de la cuenta de limpieza interna *CLI*, con la cuenta de limpieza del tiempo asignado desde el monitor *CTL*, para un cambio de estado es necesario cumplir con la condición *CLI = CTL = 1*, al ser efectiva el autómata pasa del estado l al estado m, que es el estado indicador de que se ha cumplido la condición de tiempo de limpieza. Si la condición *CLI = CTL = 0*, el autómata entra en un ciclo finito de limpieza, hasta que el comparador detecta la igualdad *CLI = CTL = 1*, en este estado las condiciones de operación son:

Condiciones  
de operación

Interruptores  
de operación

Condiciones  
de operación  
Para SDAE = 1

Para  $CLI = CTL = 0$

Automático  
CP = +/-

CDI = 0  
BTCD = 0  
CLI = 1  
BTCL = 0  
SDAE = 1  
SCPD = 1  
HCC = 0  
DCE = 1  
IFC1 = 1

	IFC Abierto	IFC Cerrado
IAP = 0	0	1
ICE = 0	0	1
IBP = 0	0	1

CDI = 0  
BTCD = 0  
CLI = 1  
BTCL = 1  
SDAE = 1  
SCPD = 0  
HCC = 0  
DCE = 1  
IFC1 = 1  
IFC2 = 1

Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

IFC2 = 1  
 A01 = 0  
 A02 = 0  
 A03 = 0  
 SV - ON = 0  
 P - CON = 1  
 N - OT = 1  
 P - OT = 1  
 ALM - RST = 1  
 N - CL = 1  
 P - CL = 1  
 C = 1

A01 = 0  
 A02 = 0  
 A03 = 0  
 SV - ON = 0  
 P - CON = 1  
 N - OT = 1  
 P - OT = 1  
 ALM - RST = 1  
 N - CL = 1  
 P - CL = 1  
 C = 1

- m Al cumplirse la igualdad  $CLI = CTL = 1$ , el autómatu envía una señal BIT TIEMPO CORRECTO DE LIMPIEZA (BTCL), y pasa incondicionalmente del estado m al estado c, y reinicia el ciclo del programa infinitamente hasta que los IFC's actúen o se les suspenda la labor.

Por lo anterior obtenemos el siguiente diagrama de estados y habiendo estudiado las opciones proponemos el uso de un registro de corrimiento en paralelo.

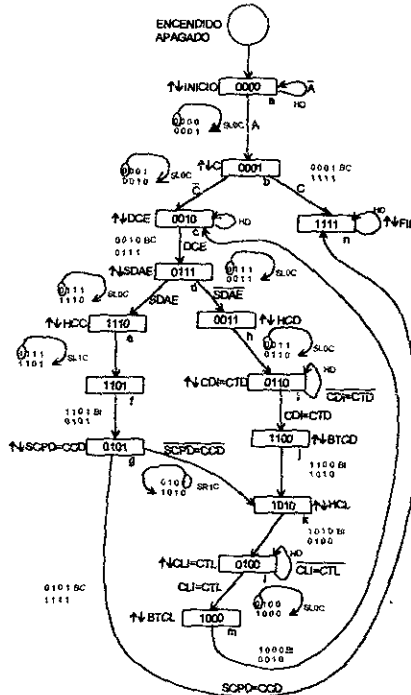


Figura 3.3.2.b Diagrama de estados del autómatu de la máquina de electroerosión con diseño de registros de corrimiento.

# Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón

## DISEÑO DEL CONTROLADOR DE UNA MÁQUINA DE ELECTROEROSIÓN CON REGISTRO DE CORRIMIENTO

### MAPA DE ESTADOS PRESENTE

	$Q_3$	$Q_2$	$Q_1$	$Q_0$
	$Q_3$	$Q_2$	$Q_1$	$Q_0$
$Q_3$	00	01	11	10
$Q_2$	00	a	l	j
	01	b	g	f
	11	h	d	n
	10	c	i	e
				k

### MAPA DE ESTADOS FUTUROS

	$Q_3$	$Q_2$	$Q_1$	$Q_0$
	$Q_3$	$Q_2$	$Q_1$	$Q_0$
	00	01	11	10
$Q_3$	$\bar{A}$ HD 0000	$\overline{CLI=CTL}$ HD 0100	BI 1010	BI 0010
$Q_2$	A SLIC 0001	$\overline{CLI=CTL}$ SLIC 1000		
$Q_1$	C BC 1111	$\overline{SCPD=CCD}$ SRIC 1010	BI 0101	*
	$\bar{C}$ SLIC 0010	$\overline{SCPD=CCD}$ BC 1111		
$Q_0$	SLOC 0110	$\overline{SDAE}$ SROC 0001	FIN	*
		SPAE SLIC 1110		
	$\bar{DCE}$ HD 0010	$\overline{CDI=CTD}$ HD 0110	SLIC 1101	BI 0100
	DCE BC 0111	$\overline{CDI=CTD}$ SLIC 1100		

# Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

## MAPAS DE MODO DE CONTROL

		Q <sub>3</sub>	Q <sub>2</sub>		
Q <sub>1</sub>	Q <sub>0</sub>	00	01	11	10
00	0	0	*	*	
01	$\bar{C}$	1	*	*	
11	0	SDAE	0	*	
10	*	0	0	*	

		Q <sub>3</sub>	Q <sub>2</sub>		
Q <sub>1</sub>	Q <sub>0</sub>	00	01	11	10
00	A	CLI=CTL	*	*	
01	1	SCPD=CCD	*	*	
11	1	SDAE	0	*	
10	*	CDI=CTD	1	*	

$$A \begin{cases} 0 & S_0 S_1 \\ & 0 \ 0 \\ 1 & \frac{0 \ 1}{0 \ A} \end{cases}$$

$$CLI=CTL \begin{cases} 0 & 0 \ 0 \\ 1 & \frac{0 \ 1}{0 \ CLI=CTL} \end{cases}$$

$$SDAE \begin{cases} 0 & 1 \ 0 \\ 1 & \frac{1 \ 1}{SDAE \ SDAE} \end{cases}$$

$$C \begin{cases} 0 & 1 \ 1 \\ 1 & \frac{0 \ 1}{\bar{C} \ 1} \end{cases}$$

$$SCPD=CCD \begin{cases} 0 & 1 \ 0 \\ 1 & \frac{1 \ 1}{1 \ SCPD=CCD} \end{cases}$$

$$SDI=CTD \begin{cases} 0 & 1 \ 0 \\ 1 & \frac{1 \ 1}{1 \ SDI=CTD} \end{cases}$$

## MAPAS DE ENTRADA SERIE

		Q <sub>3</sub>	Q <sub>2</sub>		
Q <sub>1</sub>	Q <sub>0</sub>	00	01	11	10
00	1	0	*	*	
01	*	*	*	*	
11	0	0	*	*	
10	*	0	1	*	

$$L = Q_3 + \bar{Q}_2 \bar{Q}_0$$

		Q <sub>3</sub>	Q <sub>2</sub>		
Q <sub>1</sub>	Q <sub>0</sub>	00	01	11	10
00	*	*	*	*	
01	*	1	*	*	
11	*	0	*	*	
10	*	*	*	*	

$$R = Q_1$$



# Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

## MAPAS DE ENTRADA EN PARALELO

	$Q_3$	$Q_2$			
$Q_1$	$Q_0$	00	01	11	10
00	*	*	*	*	
01	1	1	0	*	
11	*	*	*	*	
10	0	*	*	0	

$$P_3 = Q_2 \bar{Q}_0 + Q_3 Q_0$$

	$Q_3$	$Q_2$			
$Q_1$	$Q_0$	00	01	11	10
00	*	*	0	0	
01	1	1	1	*	
11	*	1	*	*	
10	1	*	*	1	

$$P_2 = Q_0 + Q_1$$

	$Q_3$	$Q_2$			
$Q_1$	$Q_0$	00	01	11	10
00	*	*	1	1	
01	1	1	0	*	
11	*	*	*	*	
10	1	*	*	0	

$$P_1 = \bar{Q}_1 \bar{Q}_0 + \bar{Q}_3$$

	$Q_3$	$Q_2$			
$Q_1$	$Q_0$	00	01	11	10
00	*	*	0	0	
01	1	1	1	*	
11	*	*	*	*	
10	1	*	*	0	

$$P_0 = Q_0 + \bar{Q}_3$$

## MAPA DE SALIDAS

	$Q_3$	$Q_2$			
$Q_1$	$Q_0$	00	01	11	10
00	INICIO	CL=CTL	BTCD	BTCL	
01	C	SCP=CCD	CUENTA	*	
11	HCD	SDAE	FIN	*	
10	DCE	CDI=CTD	HCC	HCL	

En el APENDICE C se muestra el diagrama de control electrónico armado con un registro de corrimiento paralelo, producto del análisis anterior.

### 3.4. Puesta en Marcha.

Al iniciar la operación de una máquina por primera vez, siempre se recomienda asegurarse que tanto los elementos físicos, las señales y los indicadores estén correctamente conectados o relacionados, de la misma forma se busca también que los parámetros de los elementos de alimentación y operación coincidan o sean los sugeridos por el fabricante.

#### 3.4.1. Verificación de condiciones de Operación.

Esta situación es un requerimiento indispensable en la industria ya que ofrece una mayor seguridad al operador y a la máquina para evitar riesgos, entonces establecemos un orden de verificación y en este orden se anotan o se indican las observaciones pertinentes

Orden:

1. La máquina por ninguna razón debe estar al inicio activada en alguno de sus interruptores.
2. Evitar cualquier tipo de obstrucción al paso o alrededor de la máquina.
3. Evitar las fuentes de riesgo del área donde se ubica la máquina.
4. **Antes de la operación**, el operador deberá contar con el equipo y herramienta necesarias para el uso de la máquina.
5. Verificar que todos los conectores y elementos mecánicos se encuentren debidamente puestos y asegurados.
6. Los selectores e interruptores deberán encontrarse situados en la posición adecuada a las necesidades de trabajo o prueba (jamás en la primera operación se debe someter a la máquina a una prueba máxima de operación).
7. Los elementos de protección y seguridad deberán verificarse antes de la primera operación y eventualmente para saber si están en condiciones óptimas de operación.
8. Los electrodos (herramienta de trabajo y pieza de trabajo), deberán estar adecuadamente sujetas y posicionadas de forma tal que no sea obstruido el desplazamiento o acceso de los demás elementos.
9. Llaves, válvulas, grifos, filtros, deberán estar adecuadamente posicionadas o regulados.
10. Una vez que lo anterior ha sido realizado se procederá a encender ordenadamente la máquina.
  - Interruptor general    apagado → encendido.
  - Lámpara de iluminación.

## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

- Bomba de fluido dieléctrico (para regular caudal y nivel de la tina).
- Interruptor del generador (al activar este interruptor el indicador de voltaje mostrará un desplazamiento).
- Interruptor de intensidad de corriente.
- Interruptor del servomando.

Una vez que todo lo anterior ha sido activado el indicador de corriente se desplazará en el momento que exista distancia en el gap para una ruptura dieléctrica.

Si la operación muestra una descarga constante la máquina realizará por sí sola la erosión, limpieza, el asenso y descenso del cabezal y al terminar indicará con una señal acústica el fin de su tarea.

Si la máquina presentara un problema indicará automáticamente con una señal luminosa y/o acústica dicho fenómeno, desactivando el generador, si es el caso el operador procederá a ubicar la fuente del problema, efectuará las anotaciones correspondientes en una bitácora y procederá a solucionar o resolver el problema.

### **3.4.2. Verificación de puntos de Seguridad.**

1. En el módulo de suministro eléctrico.
  - Antes de conectar a la acometida eléctrica la máquina se verificará con instrumentos que la polaridad y voltaje correspondan a los parámetros de la máquina.
  - El tipo de conector debe ser adecuado al de la máquina, en caso de no ser así las uniones o extensiones deberán ser correctamente hechas verificando que:
    - El conductor sea el adecuado (calibre y aislante)
    - La polaridad deberá ser correspondiente uno a uno.
    - Los aislantes deberán ponerse adecuadamente evitando amontonamientos o uniones incorrectas.
    - No improvisar uniones o conexiones.
  - El sistema de tierra deberá ser adecuado al tipo de conector y sistema de referencia.
  - No se deben tender los cables de conexión sobre superficies húmedas, mojadas o corrosivas, tanto menos los conectores.
2. En las condiciones físicas de la máquina.

## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

- Las tarjetas y conectores deberán estar bien posicionados, ubicados y unidos, si cuentan con un seguro o bloqueo éste deberá estar cerrado.
- Los cables y conductores, así como las zapatas de unión no deben estar dañados o maltratados, los aislantes y recubrimientos no deberán estar rotos o deteriorados.
- Los selectores e interruptores no deberán estar sueltos, rotos o dañados.
- Que no existan elementos conductores que unan directamente el electrodo del cabezal y la estructura de la máquina.

### 3. En el montaje de las piezas de trabajo

- Al instalar las piezas de trabajo la máquina deberá estar apagada en el sistema del generador, servomando y corriente en el electrodo.
- El detector de corto circuito o señal acústica deberá estar encendido.
- No debe haber piezas sueltas dentro de la tina de trabajo.
- La pieza de trabajo deberá estar bien sujeta.
- Los elementos de sujeción y fijación no deben interrumpir el desplazamiento del cabezal.

### 4. Para el operador.

- Deberá contar con el equipo de seguridad (guantes, gafas zapatos, overall o bata, de ser posible casco).
- Deberá contar con la herramienta necesaria para montaje o liberación de piezas y elementos de la máquina.

### **3.4.3. Recopilación de Datos.**

La recopilación de datos nos sirve para crear manuales, bitácoras, historiales, o métodos de proceso, lo que en otras palabras sería establecer las regulaciones que se deben seguir en los procesos, y en nuestro caso en el proceso de maquinado por descarga eléctrica, existen formatos donde el usuario anota las condiciones de operación de una máquina, posición de los potenciómetros, palancas, perillas botones, etc. Y esta información nos sirve para determinar las condiciones óptimas de operación, poder repetir en forma ordenada los pasos en el trabajo, o ubicar errores durante el mismo, a continuación se muestra un formato sugerido para tal efecto.

Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

Material del electrodo	Parámetros básicos secundario								Electrodo				Observaciones		
	Superficie Nr. deseada	Polaridad	Intensidad	TI	TP	Gap	Limpeza	Intensidad media	Gap desgaste	Gap acabado	Longitud	Desgaste %L		Desgaste %	Tiempo real de mecanizado

Material del electrodo.- Define con dos caracteres el material del que esta compuesto el electrodo.

- Cu cobre
- Al aluminio
- Ni níquel
- Gr grafito
- Fe hierro
- Ac acero

Superficie Nr. Deseada.- Determina el grado de rugosidad deseada en la superficie de la pieza de trabajo.

Polaridad.- Es la forma en que el flujo eléctrico se hará presente en los electrodos, y por convención se utilizará para determinar la polaridad del electrodo montado en el cabezal del husillo, siendo:

- + positivo.
- - negativo.

Intensidad.- Define la cantidad de corriente empleada durante las descargas eléctricas, dependiendo de la capacidad de la máquina, empleando dos dígitos.

- 00 → 10

TI.- Tiempo de intensidad, Define la cantidad de tiempo en que se sucederán las descargas eléctricas, correspondiendo a un valor máximo del 80% del periodo de descarga.

## Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

- TP.- Tiempo de pausa.- Corresponde al tiempo en que no existirán descargas eléctricas su valor será de aproximadamente el 20% del periodo de descarga.
- Gap.- Es la distancia que separa los electrodos, en la cual al romper la capacidad dieléctrica del liquido se presentarán los arcos eléctricos, y debido a esto su distancia será desde unos cuantos micrómetros hasta dos o tres milímetros dependiendo de la intensidad eléctrica.
- Limpieza.- depende de dos factores que son el tiempo en el que la máquina esta desbastando el área de trabajo y un tiempo en que se limpia dicha área de trabajo, es decir, define la cantidad de tiempo en el que se sucederán las descargas, su valor máximo dependerá del tipo de material con el que se este trabajando, el flujo inyectado de liquido dieléctrico, la intensidad de corriente, etc., pero se sugiere que no exceda un tiempo mayor a 90 segundos para reducir la presencia de residuos carbonizados y productos de la erosión, el otro tiempo sirve para que la máquina realice un lavado en el área de trabajo, permitiendo así evitar la acumulación de residuos no deseados, este tiempo no es largo, comprendiéndose de 1 a 10 segundos y dependiendo de la profundidad del trabajo erosivo.
- Intensidad media.- Es el valor promedio leído en la carátula del amperímetro, justo en el momento de las descargas, tomándose como el valor efectivo de la intensidad.
- Gap desgaste.- Es la distancia presente en el gap cuando a la máquina se la asigna la tarea de realizar perforaciones sin importar la rugosidad de la superficie, este gap puede estar comprendido de 3 a 0.001 mm., debido a la intensidad de la corriente.
- Gap acabado.- Es la distancia presente en el gap cuando a la máquina se la asigna la tarea de realizar un trabajo de descarga eléctrica a altas frecuencias y baja intensidad, permitiendo una distancia de 0.001 a 0.0001 mm, dando origen a superficies muy lisas.
- Longitud (L).- Es la distancia del electrodo, que comprende desde la punta hasta una referencia asignada o la parte donde se sujeta, saber este valor permite determinar con mayor facilidad las mejores condiciones de operación, debido a que podemos detectar con respecto a las variables de trabajo la duración de un electrodo y la efectividad del trabajo que realiza y también si el material es adecuado.
- Desgaste %L.- Junto con el tiempo de mecanizado, nos permite calcular la vida útil de un electrodo, o el comportamiento de la máquina durante el trabajo en función de sus variables.

Prototipo de una Máquina de electroerosión fase II, desarrollada en la ENEP Aragón.

**Desgaste %.-** Es la relación entre el desgaste del electrodo y el desgaste de la pieza de trabajo, permitiendo averiguar, las mejores condiciones de operación.

**Tiempo real de mecanizado.-** Es el valor en tiempo real que se lleva la máquina bajo ciertas condiciones en realizar su trabajo, hasta que el interruptor de fin de curso anula la función de desgaste.

## **4. MANTENIMIENTO A UNA MÁQUINA DE ELECTROEROSIÓN Y EXPERIENCIAS EN CAMPO**

4.1 ¿Porqué del Mantenimiento?

4.2 Secuencia de mantenimiento.

4.3 Determinación del Estado Inicial de la Máquina de Electroerosión AGIE Plus.

4.3.1 Realización de una Bitácora de operación de la Máquina. (Historial).

4.3.2 Recopilación Bibliográfica Referente al Equipo.

4.3.3 Identificación de los Módulos que la componen.

4.3.4 Verificación Personalizada.

4.3.5 Recopilación de datos.

4.3.6 Reporte General.

4.3.7 Corrección y Solución de Fallas.

4.4 Experiencias en Campo.

4.4.1 Objetivos.

4.4.2 Desarrollo.

4.4.3 Actividades y Cronograma.

4.4.4 Programa.

4.4.5 Reportes de Actividades.



## **4.1. ¿Porqué del Mantenimiento?**

Para darnos una idea mas general de como están conformadas las máquinas, debemos adentrarnos a ellas, y el mantenimiento es un solución a esta inquietud. Este capítulo se enfoca al mantenimiento de la máquina de electroerosión AGIE Plus, Generador K, 1969, la cual se encontraba sin trabajar en la empresa Beutelspacher S.A. de C.V., debido a una serie de averías que mas adelante abarcaremos. Además el hecho de combinar un proyecto académico interdisciplinario con la iniciativa privada, proporciona experiencia y alternativas para ambas partes y principalmente a los participantes involucrados en el enlace.

El mantenimiento es en si un medio para conservar en forma adecuada cualquier tipo de dispositivo. En cuanto a su operación y funcionalidad, existen dos clases de mantenimiento; el mantenimiento preventivo, que permite verificar las condiciones de operación de un dispositivo, sin llegar al extremo de dar un servicio correctivo, cuando alguno de sus elementos se dañen, este mantenimiento es generalmente una propuesta del fabricante, de revisar periódicamente un equipo, limpiando, comprobando parámetros y funciones, para evitar daños o mal funcionamiento, en periodos o tiempos, calculados en base a los componentes o tiempo de vida útil de los mismos. El otro tipo es el mantenimiento correctivo, es aquel que se le da a un dispositivo, cuando uno o más de sus elementos se dañan y se requiere un cambio de dicho elemento.

Las necesidades para el mantenimiento preventivo de una máquina herramienta, son: conservar en estado adecuado un dispositivo o máquina para su operación, prever con tiempo y conciencia el cambio o sustitución de los elementos o dispositivos que lo conforman, reducir en forma notoria todas aquellas situaciones que obliguen al dispositivo a entrar en un modo de operación inadecuado, mantener un nivel de eficiencia operativa optima, prolongar la vida útil del dispositivo y por ende reducir los costos de operación y mantenimiento correctivo.

## 4.2. Secuencia de mantenimiento.

Toda actividad relacionada con el mantenimiento, dependerá de una evaluación primaria, que determinará el estado en que se encuentra el dispositivo o el tipo de servicio al que se someterá, tenemos dos diferentes tipos de mantenimiento, el preventivo y el correctivo, a continuación se explica cada uno de ellos:

- **Mantenimiento Preventivo.**- consiste en realizar principalmente una limpieza de elementos y sistemas que integran un dispositivo con el fin de mantener en condiciones adecuadas a los elementos, esta limpieza permite también una evaluación física de los componentes de manera muy general por medio de la observación, generalmente es aplicada a todos los elementos sólidos de cualquier máquina, el mantenimiento preventivo también admite una verificación de señales y lógica, entre los dispositivos, es decir al revisar los sensores, cables, conectores, etc. se puede predecir o constatar la operación lógica, esta actividad es necesaria y sugerida por los fabricantes a razón de alargar la vida útil de los dispositivos, permite también el cambio de los elementos percederos o desechables y conservar a la vez el buen aspecto físico y operativo.
- **Mantenimiento Correctivo.**- consiste en realizar el cambio o sustitución de elementos que componen a un dispositivo y que debido a su falla no permiten la operación correcta o definitiva del mismo, al realizarse esta actividad generalmente es acompañada de una verificación general, produciéndose así implícitamente un mantenimiento preventivo.

Una vez que se a determinado el tipo de mantenimiento se analizan los criterios de mantenimiento, los cuales estarán sujetos a las siguientes propuestas; estado físico del dispositivo, condiciones de operación, tiempos y volumen de producción, eficiencia de la máquina, edad del dispositivo y tiempo de vida útil, historial de mantenimiento. Por lo que los criterios de mantenimiento son; los parámetros físicos, eléctricos, y mecánicos, así como las características físicas (color, textura, resistencia, forma, etc.), las condiciones de operación (humedad, temperatura, presión, etc.), y la comunicación (Eléctrica, mecánica, electrónica, etc.) de la máquina.

Después se realiza una encuesta al operador con el fin de establecer las condiciones iniciales en las que se presento el problema, esto es muy importante ya que al omitir información, el personal encargado de tal servicio absorbe la responsabilidad total de las condiciones del dispositivo, entonces, al realizar la entrevista se deslindan responsabilidades, si el dispositivo lo permite también se sugiere realizar una prueba inicial de operación con el fin de corroborar las anotaciones o el estado inicial, todo lo anterior se adjuntará en el reporte final de mantenimiento.

Al obtener la información y la prueba inicial se procederá a conocer por medio de los manuales, planos y diagramas al dispositivo y conjuntamente con una revisión física ubicaremos el espacio que corresponde a cada uno. Una vez identificado todo esto se puede suponer o determinar la fuente del problema, es decir podemos descartar por medio de un análisis primario la naturaleza y características del fenómeno que nos interesa,

Ya determinada o supuesta la razón del problema se procederá a cotejar por medio de una revisión personalizada la fuente del problema, en este caso se requiere principalmente de un conocimiento general de las características de los sistemas y nos referimos a los diferentes tipos que existen, como son; mecánicos, eléctricos, hidráulicos, electrónicos y neumáticos.

Una vez conocidos y ubicados los sistemas podemos involucrarnos en sus características internas que pueden ser; control y procesamiento, interfase y acoplamiento, variables que maneja, comandos, datos e instrucciones, señales Entrada/Salida, servo y movimiento, alimentación y potencia, entre otros.

Esta relación es importante por que al separar o dividir las funciones de los componentes nos permite una ubicación inmediata de fenómenos y características de los elementos involucrados, esto es que al requerir información es muy probable que se obtenga más fácilmente si se busca por elementos simples, en este punto es donde utilizamos dispositivos de medición y herramientas que nos facilitan determinar el estado de cada elemento, este método es factible de aplicación en la mayoría de los sistemas.

Los criterios de remplazo y cambio de elementos, indudablemente serán las fallas totales o parciales de los elementos, el daño físico o cambios notables en su estructura, incongruencia en sus parámetros, sobrecalentamientos, funciones ilógicas a las actividades destinadas o cuando el elemento ocasione alguna alteración a cualquier sistema. Es preciso mantener en condiciones óptimas de operación a un dispositivo, evitar los riesgos de falla por efectos provocados por otros elementos y reducir los costos de mantenimiento a corto y largo plazo.

### **4.3. Determinación del Estado Inicial de la Máquina de Electroerosión AGIE Plus.**

En este apartado nos referimos al estado en el que encontramos la máquina de electroerosión AGIE, y la manera en que establecimos un programa de trabajo, también proponemos un método de evaluación, verificación, determinación y solución de problemas referentes a la máquina y su operación.

Es necesario que al tener contacto con cualquier tipo de máquina no importando su naturaleza, se conozca de forma por lo menos básica las condiciones en las que se encuentra operando o el ¿porqué? (si es el caso), no opera. También con el fin de evitar cualquier mal entendido o problema, debido al estado del dispositivo, esto es de importancia ya que los hábitos de manejo de equipo generalmente presentan deficiencias.

En la determinación del estado inicial de la máquina de electroerosión, se determina el tipo de mantenimiento que se le dará al equipo y el método que se seguirá.

#### **4.3.1. Realización de una Bitácora de operación de la Máquina. (Historial).**

Si fuera el caso de que no existiera alguna información escrita o publicada del dispositivo, sería necesario investigar las causas que originan el problema que se quiere resolver, este caso especialmente dirigido al mantenimiento correctivo también ayuda a tener un control sobre los periodos en los que se somete a servicio y su comportamiento, por ello es importante redactar o tomar nota de toda clase de comentarios, principalmente aquellos que provengan del operador y estos deberán ser comparados con las sugerencias y observaciones del fabricante. En caso de un mantenimiento preventivo, éste permitirá llevar una calendarización de servicio y una memoria de actividades realizadas al dispositivo a fin de tener un control de servicios.

#### **4.3.2. Recopilación Bibliográfica Referente al Equipo.**

Se sugiere solicitar al operador o responsable toda la información bibliográfica correspondiente al dispositivo, sean manuales, diagramas, planos, etc. y de ser posible si existe la bitácora de operación de la máquina a fin de que teóricamente podamos determinar la falla o problema a la que esté sujeto el dispositivo, e identificar las observaciones y comentarios del fabricante, de la misma forma las sugerencias con respecto al método a seguir para llevar a cabo un servicio, y en su caso contactar al mismo operador o los proveedores para la obtención de información, materiales o consumibles según sea el caso.

#### **4.3.3. Identificación de los Módulos que la componen.**

Una vez recopilados los documentos del equipo o maquinaria y habiéndolos revisado se sugiere identificar gráfica y físicamente todos y cada uno de los módulos que integran el dispositivo, a fin de evitar errores o confusiones con los elementos y su distribución.

Esta identificación nos acerca a conocer las distribuciones óptimas y las características propias de cualquier sistema, muchas veces cada fabricante propone una forma particular de distribuir y conectar elementos, pero aun así se mantiene un estándar de organización, el cual básicamente respeta volumen, presencia de campos magnéticos y eléctricos, fuentes de temperatura, etc.

#### **4.3.4. Verificación Personalizada.**

Esta verificación no es otra cosa que estar identificando los módulos, sistemas y elementos que nos lleven individualmente a reconocer una fuente de problema o al problema mismo, es decir, identificar de forma visual una a una las partes de un dispositivo de forma física, a esta altura se deberán conocer e identificar los módulos por sus características; eléctricas, mecánicas, electrónicos, servo, hidráulicos, etc. y todos aquellos que integren el dispositivo como son los sistemas de control y los sistemas operativos.

#### **4.3.5. Recopilación de datos.**

La recopilación de datos nos permite cuantificar y calificar la naturaleza de los fenómenos, es por eso, que es importante anotar cada comentario, observación u opinión referente, así como todos aquellos valores, parámetros, datos y notas técnicas.

Se sugiere crear o tener un cuaderno o libro especial y único para el dispositivo, con el fin de evitar traspapelar o perder información que puede ser vital para aclaraciones a futuro.

#### **4.3.6. Reporte General.**

Un reporte general es un documento en el que anotamos, comentamos y proponemos soluciones a los fenómenos que involucren al mantenimiento, es decir tratamos si es el caso del mantenimiento preventivo de vislumbrar una posibilidad de falla y si es el caso del mantenimiento correctivo ofrecemos las alternativas de solución y una táctica para resolver el problema, también se puede contemplar el costo y el tiempo en que se llevará a cabo.

#### **4.3.7. Corrección y Solución de Fallas.**

Una vez que se elabore el reporte y se ponga a disposición del responsable, para que se autonce el mantenimiento cualquiera que sea, se seguirá la estrategia propuesta, y si los sistemas requieren de un procedimiento se seguirán de acuerdo al método que esté establecido.

La solución de fallas debe ser siempre ordenada y metódica, se sugiere siempre resolver uno por uno los problemas y de forma consecutiva, no se recomienda tratar de resolver todos a un tiempo.

Una vez que esto suceda, se procederá a verificar cada cambio o movimiento antes de poner en función un dispositivo, cosa que garantiza la ausencia de un error o riesgo de falla.

Cumplido lo anterior, el dispositivo se pone a prueba en las condiciones de operación inicial sin carga, verificando el comportamiento de la máquina, tomando nota en la bitácora, de todos y cada uno de los fenómenos que se presenten siempre y cuando no correspondan a la operación normal, si fuese de forma contraria se anotará como operación correcta, la fecha y el nombre de la persona encargada de la evaluación y una sugerencia de la próxima verificación o servicio. En la presencia de cualquier fenómeno que no corresponda a la operación correcta, se procederá a evaluarlo nuevamente y de ser posible solucionarlo, en caso de ser un problema ajeno al conocimiento del personal, se sugiere buscar siempre apoyo profesional especializado.

## **4.4. Experiencias en Campo.**

En este espacio planteamos una serie de experiencias, al prestar un servicio de practicas profesionales, dentro de una empresa de la iniciativa privada, esta empresa se dedica al desarrollo y construcción de máquinas para la inyección de plástico, el nombre de dicha industria Beutelspacher S.A. de C.V., que esta dividida en diferentes áreas y a nosotros nos toco laborar en la división de Electroerosión S.B., S.A. de C.V., que funge como una empresa dentro de la otra, esta división cuenta con una serie de máquinas electroerosionadoras dedicadas a la fabricación de elementos metálicos para las máquinas de inyección que se fabrican ahí, también se dedican a la maquila de piezas, recuperación, y rectificación, entre otras actividades.

### **4.4.1. Objetivos.**

- Obtener una relación directa entre un sistema educativo de nivel superior y empresas de la iniciativa privada para el conocimiento, manejo, operación y desarrollo de maquinaria erosionadora por descarga eléctrica del tipo comercial.
- Conocer intrínseca y extrínsecamente equipo erosionador para corregir fallas y erratas en el diseño de nuevos equipos erosionadores y de esta forma mantenerlos dentro de un parámetro comercial competitivo.
- Proporcionar a la iniciativa privada una opción de servicio con alternativas, en el intercambio de conocimientos y experiencias con la expectativa de un beneficio mutuo.

### **4.4.2. Desarrollo.**

Se iniciaron las actividades dentro de la empresa BEUTELSPACHER S.A. de C.V., empresa dedicada a la fabricación de maquinaria destinada a la transformación de plásticos y sus procesos. Dada la infraestructura y a su giro cuentan con un área de proceso de metales y herramientas divididas en varias secciones dentro de las cuales se ubica el área de Electroerosión lugar donde se elaboran por diferentes métodos piezas y herramientas destinadas para la inyección y conformación de plásticos y sus derivados.

Específicamente el área de Electroerosión cuenta con cinco máquinas erosivas, cuatro de ellas son máquinas del tipo de penetración y de éstas, dos son del tipo CN y las otras dos son únicamente servocontroladas en lazo cerrado y la quinta máquina es una erosionadora del tipo de filamento alámbrico.

Las máquinas de penetración están dedicadas a la maquila de proceso de metales tal como, perforación de elementos templados, limpieza y rectificación de piezas así como penetraciones varias, mientras que la máquina de hilo se destina básicamente al diseño de piezas y herramientas dadas sus características.

Dentro de esta área se nos permitió trabajar con una máquina de penetración marca AGIE Plus, modelo AB con generador tipo K según datos del fabricante, con una edad aproximada de 25 Años, a la cual pretendemos dar una mayor productividad y eficiencia, cosa que se corrobora al encontrarse detenida en su producción.

Debido a la falta de conocimiento sobre el tipo de maquinaria al iniciar actividades nos abocamos a planear la estrategia de trabajo y un calendario de actividades a seguir, a lo largo de las practicas.

#### **4.4.3. Actividades y Cronograma.**

Las actividades siempre estarán de acuerdo al fenómeno que se presente tal es el caso de que al ser requerido un cambio de piezas siempre se iniciara dicho remplazo con aquellas que sus características físicas y propiedades estén dedicadas al trabajo pesado o sean destinadas a actividades de poca precisión, inmediatamente se procederá a instalar todos aquellos elementos que su función sea media y no muy delicados, por último se remplazaran todos aquellos elementos empleados en funciones de precisión o de características delicadas.

Existen sistemas que están integrados por varios sistemas, unos contenidos en otros lo que nos presenta un problema, siempre que se desarme o modifique el estado de cualquier elemento es recomendable hacer algún diagrama o tomar nota de todas aquellas particularidades que lo rodean para evitar confusión o errores al rearmar, cosa que si sucediera en un dispositivo de precisión puede ocasionar definitivamente mal funcionamiento o un daño mayor en el dispositivo. Por lo anterior las actividades serán:

- Reconocimiento del dispositivo.
- Evaluación del estado físico y operativo.
- Ubicación de fallas o daños.
- Anotaciones y diagramas respectivos si se requieren.
- Verificación personalizada de parámetros.
- Extracción o remoción de elementos dañados o sistemas fallos.
- Adquisición de refacciones o reemplazos equivalentes.
- Instalación y aseguramiento de correcta instalación.
- Rearmado de elementos.
- Prueba inicial operativa y funcional sin carga.
- Prueba operativa y funcional con carga.
- Entrega del dispositivo.



## Mantenimiento a una máquina de electroerosión y experiencias en campo

El Cronograma ubica las actividades en tiempos (figura 4.4.3.a), situación que permite darle continuidad a cualquier actividad dando la oportunidad de suponer o predecir el tiempo requerido para realizar cualquier cambio, cosa que es deseable ya que hoy en día es importante para los costos de producción saber económicamente cuanto cuesta detener la operación de cualquier equipo.

OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE		ENERO	
Inicio	15	Reporte 1 Evaluación	12	Reporte 2	15		
Etapa I Planeación Introducción teórica	13 al 17	Respuesta al reporte 5 días		Prueba de operación a K2 no supervisada	19		
Prueba de operación supervisada	28	Etapa II Mantenimiento, prevención y corrección					
Evaluación Etapa II	29	Corrección de fallas Reevaluación Reporte					
		Cuantificación general a K1					

Figura 4.4.3.a Cronograma de trabajo.

### 4.4.4. Programa.

- Inicio de Actividades.
- Planeación de Estrategias.
- Identificación de Partes y Elementos que la integran.
- Limpieza y evaluación de componentes.
- Identificación de módulos.
- Formas y métodos de operación de la máquina.
- Puesta en marcha.
- Pruebas de operación.
- Entrega de equipo.
- Finalización de practicas Profesionales.

Así mismo mientras se trabajaba con el equipo, se consultarían los manuales y diagramas existentes, aunados a la asesoría proporcionada por los operadores del equipo dando lugar a opiniones y sugerencias que permitan un mejor desenvolvimiento en nuestras actividades

## Mantenimiento a una máquina de electroerosión y experiencias en campo.

Iniciando de esta forma el mantenimiento preventivo y correctivo que se requiriera basándose en los recursos facilitados por la empresa, dentro de esta etapa se observó que el equipo había recibido un mantenimiento muy esporádico y poco concienzudo originando fallas, además que sus parámetros de operación eran sumamente deficientes, debido a la falta de conocimiento de operación y del equipo.

El desarrollo de este trabajo se divide en aspectos eléctricos y los aspectos mecánicos. Se requirió inicialmente de una limpieza general del dispositivo debido a que era casi imposible saber los datos básicos de algunos elementos.

Una vez que la limpieza se llevo a cabo se procedió a identificar los módulos eléctricos y mecánicos de la máquina que esta dividida en tres grandes bloques que son:

- La etapa de control.
- La etapa de potencia.
- La etapa de seguridad.

Y estas se subdividen en:

- Etapa de control:
  - Control de fluido dieléctrico.
  - Control de desplazamiento del cabezal.
  - Control de la mesa de coordenadas.
  - Control de tensión del cabezal.
  - Control de chispa.
  - Control de tiempos.
  - Control de desbaste y acabado.
  - Control de fallas.
- Etapa de potencia:
  - Módulo de regulación y rectificación.
  - Módulo almacenaje de energía
  - Módulo de distribución.
- Etapa de seguridad:
  - Compuesta básicamente por elementos que permiten y proporcionan los recursos propios de aislamiento y reducción de fallas para protección del sistema y sus operadores.

Cabe mencionar que debido a la edad de la máquina y los hábitos de mantenimiento proporcionados por diferentes personas los diagramas de servicio así como parte fundamental de la información referente a la misma (manuales), se perdió o no se encuentra disponible, situación que influye notablemente de forma negativa a la operación de la máquina, dando lugar a que se identificaran una a una las tarjetas y componentes con las que existían y en su caso donde fuera necesario se procedió a elaborar su diagrama o esquema de conexión.

Una vez que se logro la identificación de elementos y módulos nos dimos a la tarea de conjuntar los elementos que hacían falta al equipo y en su caso a repararlos o adaptar algún elemento donde fuese necesario, cosa que se realizo prácticamente sin contratiempos.

Es de notarse que muy insistentemente se nos indico que el dispositivo tenia un problema grave referido al desplazamiento del cabezal del electrodo

El problema consistía en que los tiempos de operación de chispa (erosión) y el tiempo de limpieza, no estaban funcionando adecuadamente, motivo por el cual se producía una gran cantidad de carbonización y desgaste del electrodo volviendo al proceso ineficiente y lento, y esto provocaba que no se usara la máquina.

Observando las características físicas del módulo y por comparación de una máquina análoga, se implemento un cambio mecánico en la posición del servomotor del desplazamiento del cabezal eliminando parte del arreglo diferencial de engranes, dando como consecuencia un incremento en la velocidad de desplazamiento y paralelamente se incrementa el flujo de líquido dieléctrico, se hace actuar el vibrador del cabezal y una variación a la intensidad del campo del servomotor, actuando todos a la vez se obtuvo un incremento en la eficiencia notable, reduciendo en algunos casos en más de tres cuartas partes del tiempo de trabajo, entre un 30 a 40% del desgaste del electrodo pudiendo llegar hasta el 100%, y aunado a lo anterior se propuso la homogeneización de los elementos transistores de las tarjetas de potencia, situaciones que fueron definidas por observación y pruebas efectuadas por el intercambio de las tarjetas de potencia que se usaban en la otra máquina, cosa que ayudo a la obtención en los resultados, superando la expectativa inicial en cuanto a las capacidades de la máquina.

Para determinar los porcentajes de ahorro en el desgaste del electrodo, nos basamos en obtener las dimensiones físicas del electrodo y el tipo del mismo, al inicio de la operación y al final repetimos la misma operación y la diferencia nos permitió determinar dichos porcentajes.

Una vez que lo anterior fue desarrollado se propuso también la implementación de un mecanismo que permitiera posicionar de una forma más rápida la altura del electrodo ya que se venía efectuando de forma manual y dadas las características resultaba sumamente incomodo y poco convencional, y cuya opción de realizarla de forma rápida generaba un riesgo de una descarga ya que era necesario hacer que actuara la tensión en el electrodo del dispositivo. Por tal motivo se implemento un dispositivo actuador/conmutador con un relevador y una combinación básica de alambres y señales para solucionar el problema, situación que es también satisfactoria.

Por último el hecho de combinar un proyecto académico interdisciplinario con la iniciativa privada proporciona experiencia y alternativas para ambas partes y principalmente a los participantes involucrados en el enlace.

#### **4.4.5. Reportes de Actividades.**

En esta parte elaboramos un formato semanal donde anotamos las actividades más importantes que se hayan realizado en la semana, su seguimiento, los contratiempos, las opciones de solución y la implementación, consideramos este documento como una bitácora de actividades. La información de este reporte podrá ser consultada en el APÉNDICE A de este documento.

La información que se asienta en el reporte de actividades es el resultado de la verificación de lo que a continuación que se lista:

- ◆ Los contactos de los relevadores e impedancias de las bobinas de los actuadores.
- ◆ Valores de resistencias y estado físico.
- ◆ Caída de voltaje en diodos y estado físico.
- ◆ Polaridades de elementos varios.
- ◆ Configuración de transistores (sin removerlos de las tarjetas), características por inspección de configuración.
- ◆ Los devanados de todos los motores de ventilación y movimiento de la maquina.
- ◆ Estado físico y características propias de capacitores.
- ◆ Estado físico de cables y conectores de control y potencia.
- ◆ Estado físico de Jacks y Plugs de la máquina.
- ◆ Estado físico de tarjetas, pistas y puntos de unión electrónicos.
- ◆ Estado físico de selectores y botones
- ◆ Estado físico de indicadores y medidores.
- ◆ La mesa de coordenadas.
- ◆ La tina de trabajo así como la mesa de sujeción.
- ◆ Las mangueras de entrada y salida del dieléctrico.
- ◆ Las válvulas de paso del dieléctrico.

- ◆ El depósito, la bomba y filtros del dieléctrico.
- ◆ El depósito de los filtros del dieléctrico.
- ◆ El cabezal de la máquina.
- ◆ Estado físico del micrómetro e indicador de carátula.
- ◆ El husillo del portaelectrodo.
- ◆ Reductores de velocidad.
- ◆ Embrague electromagnético.

Además se revisaron las siguientes tarjetas de control, cuyos datos aparecen a continuación (los datos se corroboran por número de serie, tipo y máquina a partir de los diagramas eléctricos de la máquina de electroerosión AGIE Plus):

TARJETA	TIPO	No. SERIE	MAQUINA
TIMER	JG36/b	601283	K-1
DETEKTOR	JG3905	605494	K-2
AUT. VIBRATOR	JG3130	601393	K-2
SUMMER TEMP.	JG2800/a	601363	K-2
KURZSCHLUSSWACHTER	JG3010	602624	K-2
RELAISPLATTE	JG4285	611893	K-1
SERVOVERSTAKER	JG3405	608494	K-1
SPERSUNG ADAPTER	JG8025	608952	K-1
LEISTUNGSENDSTUFE	JG2550A/B		K-1

Figura 4.4.5.a Tarjetas de control de la máquina de electroerosión AGIE Plus.

Mantenimiento a una máquina de electroerosión y experiencias en campo

La siguiente tabla muestra los elementos dañados y que fueron cambiados en las tarjetas de la máquina AGIE:

P	E	V	Va	Ti	Ca	Co
JG3010	C	250uf	40v	electrolitico	3	dañado
JG2800/a	R	470 ohm	2w	1		mala conexión
"	R	150 ohm	1w		1	mala conexión
JG2550A/B	T	5206377	NPN-si	V4-V5	2	inadecuado
JG2550a/b	T	901112	NPN-si	V6-V10	5	inadecuado
JG2550a/b	C	250uf	70v	electrolitico	6	dañado
JG2550a/b	R	180ohm	2w		1	dañada
JG2550a/b	R	0.33ohm	5w		1	dañada
JG2550a/b	C	0.47uf	160v	poliester	1	dañado
CONTROL	Sw	togle	220V/6 A		1	dañado
CONTROL	Rele		220v	baquelita	1	dañado
ENLACE	Wr	varios			10	dañados
E. FINO	R	1000ohm	1w		3	mala conexión
SERVOM.	Z				4	mala conexión
MUEBLE	Fan		220V		1	quemado
ANAQUEL	Fan		220V		5	atascado
PANEL	S				12	sucio

Figura 4.4.5.b Elementos dañados y que fueron cambiados en las tarjetas de la máquina de electroerosión AGIE Plus.

- |               |                 |                 |
|---------------|-----------------|-----------------|
| P: Posición   | C: Capacitor    | Fan: Ventilador |
| E: Elemento   | R: Resistencia  | S: Selector     |
| V: Valor      | T: Transistor   |                 |
| Va: Variable  | Sw: Interruptor |                 |
| Ti: Tipo      | Rele: Relevador |                 |
| Ca: Cantidad  | Wr: Alambre     |                 |
| Co: Condición | Z: Zapatas      |                 |

## 5. CONCLUSIONES.

Existen muchas máquinas o prototipos que si bien funcionan, pueden ser un peligro para los operadores que estén a cargo. Razón por la que debemos consultar y apoyar nuestra investigación en las Normas Oficiales documentadas en la construcción y seguridad del prototipo o máquina que se este diseñando o fabricando.

La participación en la realización de las prácticas profesionales en combinación con la iniciativa privada, en la empresa Beutelspacher S.A. de C.V., nos ayudo a ver un enfoque distinto sobre la construcción, operación y mantenimiento de una máquina de electroerosión.

La recopilación bibliográfica sobre como diseñar una máquina de electroerosión, fue un serio problema, que tuvimos que afrontar, pues ésta resulto escasa. Por lo que nos vimos muy beneficiados en la participación del mantenimiento de una máquina de electroerosión, en ella adquirimos los conocimientos básicos necesarios sobre la configuración interna y externa de toda la máquina, realizando cambios al sistema del cabezal, logrando con ello una mayor rapidez y eficiencia en el proceso de electroerosión de la máquina y por consiguiente en el diseño de nuestro prototipo.

Teniendo lo necesario, determinamos los módulos que constituirían el prototipo fase II. Una ventaja en este proceso, es que ya se contaba con varios elementos, como el servomotor y la unidad de control, pero debido a que en la construcción total del prototipo se contaba con la participación de la tesis enfocada al diseño y construcción del módulo generador de chispa de la compañera Martha Osorio, la cual, por motivos desconocidos no se a concluido, implementamos con algunas modificaciones el módulo generador de chispa del prototipo de electroerosión fase I. Así, de esta forma y con la observación de las normas de construcción y seguridad correspondientes a la máquina de electroerosión , fuimos dando un orden a las diferentes etapas durante la construcción del prototipo.

Consideramos que fue muy importante y enriquecedor el haber compartido la unión de dos áreas de la ingeniería (mecánica y eléctrica), en la realización de este proyecto, ya que se expuso una combinación adecuada para el diseño, fabricación e implementación de los diferentes módulos que integran el prototipo.

Parte de la construcción de la máquina se realizó con la participación de prestadores de servicio social, con alumnos de la materia de Diseño de Herramental y con técnicos del laboratorio L-1, logrando avanzar considerablemente en la fabricación del prototipo. Cabe mencionar que algunos módulos no están terminados, pero se cuenta con todos los datos y planos de fabricación correspondientes en la presente tesis, por lo que se recomienda la participación conjunta de alumnos de las diferentes áreas de la carrera para seguir desarrollando el prototipo e invitamos, a acudir a los asesores a solicitar la información publicada en la presente obra para dar continuidad y buen término a la fabricación de los módulos.

Las modificaciones al prototipo, pueden darse de diversas maneras quedando sujetas a criterio del participante con la premisa de obtener las mejores opciones dentro de un parámetro aceptable dentro de lo económico y práctico, en construcción y estas pueden manejarse independientemente con trabajos de tesis y prácticas profesionales, por ejemplo, en el módulo de la mesa de coordenadas, donde el desplazamiento es en base a un tornillo y tuerca con cuerda tipo ACME y guías en cola de milano, se puede cambiar el diseño por el de un tornillo de bolas con su respectiva tuerca de ajuste (figura 3.2.8.b), y cambiar la configuración de las guías en cola de milano por unas de tipo de rodadura, para que, de esta manera, el desplazamiento de la mesa se realice en forma más uniforme y suave, también se puede cambiar el sistema de medición que es manual por uno de parámetros eléctricos.

Los circuitos electrónicos propuestos, así como su diseño, muestran las características básicas y operativas del dispositivo con el fin de que a partir de este modelo se puedan efectuar cambios y propuestas más adecuadas. Para cualquier propuesta que se haga se debe pensar en elementos de estado sólido de mayor densidad, sea el caso de controladores con su respectiva circuitería, la cantidad de elementos de entrada, así como sus características físicas pueden ser cambiados por elementos digitales.

El prototipo cuenta con varios elementos de seguridad, un ejemplo es el embrague electromagnético, este cumple con la función de unir dos elementos mecánicos (servomotor y eje de rueda dentada), permitiendo en un instante dado (contacto accidental en el acercamiento manual de electrodo hacia la pieza) un deslizamiento en su unión evitando la destrucción del electrodo o alguna pieza relacionada con el desplazamiento del husillo.

Las velocidades de trabajo del electrodo se sugieren por experiencia, ya que no existe un lineamiento al respecto, por lo que se puede cambiar la relación de velocidades, efectuando los respectivos cambios en la programación del servopak.



Se recomienda que al rediseñar el generador (prototipo I), el suministro eléctrico para el módulo de control sea independiente del módulo de potencia en el prototipo II. El circuito que se encuentra después de la fuente de alimentación es un circuito recortador de fase, su función básica es la de proporcionar una señal estable para el disparo del SCR, el cual conduce la potencia de trabajo, el parámetro que se puede variar en este circuito es, por medio del ajuste  $R_6$ , la carga y descarga del capacitor que permite la conducción del TUJ para abrir y cerrar la compuerta del SCR. Se puede prescindir de este circuito, pues la fuente de alimentación una fuente regulada-estabilizada que controla los parámetros (voltaje y corriente), según la configuración que se le asigne por controles (selectores e interruptores), en nuestro caso lo conservamos, debido a que forma parte del diseño original del amplificador de potencia.

En los circuitos de referencia tanto del torque [T-REF (1CN-1)] y velocidad [V-REF (1CN-3)], existen dos posibilidades de ajuste (bajo y alto), estos se acoplan por medio de un puente, este permite decidir físicamente cual será empleado, pudiéndose mover y colocar en cualquier posición. Por configuración física el torque se encuentra en el ajuste bajo.

En el diseño del autómatas y en la propuesta de construcción del control de la máquina existe una señal de control DCE (Detector de Corriente en el Electrodo), que al observarse en detalle, no representa una acción trascendental en la operación debido a la presencia de la señal SDAE (Señal De Amplificador de Error), esto es; DCE existe al detectar cualquier corriente en el circuito de descarga que como recordamos es una fuente estabilizada y regulada que actúa en forma independiente, entonces SDAE verifica el parámetro de DCE o la corriente de trabajo decide si es un corto-circuito o la intensidad requerida para ambos casos tiene una opción de cambio de estado la señal DCE y SDAE garantizan con doble verificación el parámetro de la corriente de trabajo para mayor seguridad operacional.

Para el circuito de conmutación forzada SCR2, se recomienda efectuar los cálculos pertinentes para el empleo de un transistor adecuado que maneje hasta 30 Amp en plena carga. También, determinar el valor de la resistencia para el circuito inversor de pulso para disparo del SCR2 y manejar un voltaje de +5V en la base del transistor.

Para poder manejar frecuencias mayores a 35 KHz es necesario utilizar SCR con disparo mas rápido, al hacer el cambio se debe modificar paralelamente el circuito de conmutación forzada y el circuito inversor de disparo, de forma tal que siempre se asegure el corte del SCR2 a mayores frecuencias.

Se debe calcular la relación para el gancho del amperímetro y ajustar la corriente de excitación a la corriente permitida en el indicador por medio de una resistencia limitadora, de la misma forma ajustar la  $R_{lm}$ , para el Voltmetro  $I_{S\text{mínima}} = I_{DCE} + I_{INDICADOR}$ ,  $I_S =$  Corriente de la señal DCE. Del amperímetro tomamos una muestra de corriente para obtener la señal DCE con un valor máximo de +5Vcd y una corriente de 0.2 Amp máxima.

Al momento de realizar la conexión del circuito de protección para el sistema del servomando, si se encuentra activado y produce un efecto de movimiento en este, es necesario invertir la polaridad de los pines de referencia del relevador, es decir; si se encuentra cerrado por efecto del MCCB3 hay que referirlo a una de las placas del contactor normalmente abierto, es decir conectar el relevador a dicha placa, y en los pines de referencia hay que mover las puntas de contacto como se muestra a continuación



y el efecto que se produzca dependerá de las señales de control que provengan del autómatas.

La participación interdisciplinaria juega un papel importante en el desarrollo de proyectos de investigación, tal es el caso, que al realizar este trabajo nuestra participación fue inducida a sugerencia de los primeros tesisistas y hoy nosotros proponemos también dar continuidad a esto y es debido a que son diversos los problemas que se tienen que resolver y se requiere de especialistas para obtener mejores resultados en la solución de los mismos.

## **APENDICES.**

**A. REPORTE DE ACTIVIDADES DE LAS PRACTICAS PROFESIONALES**

**B. MANUAL DE OPERACIÓN:**

**C. TABLAS**

**D. DIAGRAMAS Y PLANOS DE FABRICACION**

## APENDICE A.

### REPORTE DE ACTIVIDADES DE LAS PRACTICAS PROFESIONALES

SEMANA 1 DEL 15 AL 17 DE OCTUBRE DE 1997.

DÍA	ACTIVIDAD
LUNES	
MARTES	
MIÉRCOLES	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Inicio de actividades.</li> <li>■ Planeación y organización de actividades para el desarrollo de las practicas profesionales.</li> </ul>
JUEVES	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Identificación física de los componentes de la máquina.</li> <li>■ Selección y depuración de la información relativa a la operación y servicio del dispositivo.</li> <li>■ En la máquina se detecta que las tarjetas de control y potencia se intercambian indistintamente entre la máquina K-1 y la máquina K-2.</li> <li>■ Estudio del manual de la Máquina de electroerosión AGI.</li> <li>■ Contacto físico y revisión general de sus componentes mecánicos y eléctricos (panel de control).</li> </ul>
VIERNES	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Se procede a la ubicación física de los elementos y la identificación en base a los códigos de los diagramas y números de tarjetas.</li> <li>■ Se inicia la limpieza del dispositivo de forma general.</li> <li>■ Se estudia a fondo el modo de operación de la máquina.</li> </ul>

SEMANA 2 DEL 20 AL 24 DE OCTUBRE DE 1997.

DIA	ACTIVIDAD
LUNES	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Limpieza del dispositivo.</li> <li>■ Evaluación por observación.</li> <li>■ Se detectan fallas por falsos contactos, y deterioro por edad.</li> <li>■ Se solicitan artículos especializados para limpieza.</li> <li>■ Limpieza superficial a la columna y cabezal, así como a tina de trabajo</li> <li>■ .</li> </ul>
MARTES	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Se detecta que los elementos se tienen identificados por letreros y etiquetas ajenos a su fabricación.</li> <li>■ Limpieza a mesa de coordenadas y mesa de trabajo</li> <li>■ Se distinguen las etapas de potencia, regulación, control, interfaces, etc.</li> </ul>

MIERCOLES	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ El propósito de la limpieza es trabajar en una área mas limpia.</li> <li>■ Detección personalizada de fallas</li> <li>■ Limpieza a deposito del dieléctrico y mangueras de conexión, detectando que no estaban conectados con forme a los diagramas del manual.</li> <li>■ .</li> </ul>
JUEVES	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Se solicita un historial y bitácora de operación del dispositivo.</li> <li>■ Limpieza a tuberías y deposito de los filtros del dieléctrico</li> <li>■ Limpieza de partes y componentes.</li> </ul>
VIERNES	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Limpieza de partes y componentes de los módulos.</li> <li>■ Mantenimiento a la bomba del dieléctrico (desarme general).</li> </ul>

SEMANA 3 DEL 27 AL 31 DE OCTUBRE DE 1997.

DIA	ACTIVIDAD
LUNES	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Se finaliza la limpieza interna y externa de la máquina K-1 a nivel general.</li> <li>■ Cambio de rodamiento de bolas en el motor de la bomba.</li> <li>■ Armado de la bomba del dieléctrico.</li> <li>■ Se inicia el mantenimiento correctivo a cables de conexión generales.</li> </ul>
MARTES	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Selección de diagramas electrónicos.</li> <li>■ Verificación de existencia de tarjetas y diagramas.</li> <li>■ Instalación de la tubería y depósitos de filtros del dieléctrico.</li> <li>■ Comparación con los dispositivos de la máquina.</li> </ul>
MIERCOLES	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Selección específica por número de identificación diagrama - tarjeta.</li> <li>■ Limpieza a caja de distribución de dieléctrico</li> <li>■ .</li> </ul>
JUEVES	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Se depuran los diagramas y manuales dejando únicamente un ejemplar de cada uno y los correspondientes a la máquina K-1.</li> <li>■ Se desarmo para limpieza general y mantenimiento el micrómetro.</li> <li>■ Se detecta la ausencia de varios</li> <li>■ Colocación del micrómetro en su lugar original diagramas.</li> <li>■ .</li> <li>■ .</li> </ul>
VIERNES	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Limpieza de tarjetas.</li> <li>■ Limpieza y mantenimiento al indicador de carátula</li> <li>■ Identificación de fallas en base a características físicas de los elementos que las forman.</li> </ul>

Nota.- Se anexa lista de actividades generadas por la revisión.  
Resumen de fallas.

SEMANA 4 DEL 3 AL 7 DE NOVIEMBRE DE 1997.

DIA	ACTIVIDAD
LUNES	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Limpieza de tarjetas y revisión de parámetros sin remoción de elementos.</li> <li>■ Se desarmo la tina del dieléctrico y la mesa de coordenadas para un mantenimiento a fondo.</li> <li>■ Ver resumen de fallas.</li> </ul>
MARTES	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Limpieza de tarjetas y revisión de parámetros sin remoción de elementos.</li> <li>■ Limpieza del husillo superior de la mesa de coordenadas.</li> <li>■ Ajuste de la tuerca partida del correspondiente husillo</li> <li>■</li> </ul>
MIÉRCOLES	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Limpieza de tarjetas y revisión de parámetros.</li> <li>■ Limpieza del husillo inferior de la mesa de coordenadas.</li> <li>■ Ajuste de la tuerca partida del correspondiente husillo</li> </ul>
JUEVES	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Limpieza de zapatas y contactos de relevadores</li> <li>■ Limpieza de tarjetas.</li> <li>■ Verificación de impedancias.</li> </ul>
VIERNES	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Limpieza de zapatas y superficies de contactos de los selectores de control.</li> </ul>

SEMANA 5 DEL 10 AL 14 DE NOVIEMBRE DE 1997.

DIA	ACTIVIDAD
LUNES	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Se reviso el sistema automático de desplazamiento del cabezal de la máquina K-2, para determinar las características que se pueden introducir a la maquina K-1, para mejorar su capacidad,</li> <li>■ Se obtuvieron los números de código de componentes en K-2.</li> <li>■ Se seleccionan los diagramas correspondientes a la maquina K-2.</li> </ul>
MARTES	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Se propuso la construcción de una maquina de centrifuga para limpieza de líquido dieléctrico, iniciándose diseño y construcción.</li> </ul>
MIÉRCOLES	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Se finaliza el trabajo de limpieza de zapatas y contactos localizándose una falla en el selector de frecuencia del vibrador.</li> <li>■ Selección de diagramas del servocontrol de la maquina K-2.</li> </ul>
JUEVES	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Construcción de partes y elementos de la maquina centrifuga.</li> </ul>
VIERNES	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta por motivos personales.</li> </ul>

**SEMANA 6 DEL 17 AL 21 DE NOVIEMBRE DE 1997.**

<b>DIA</b>	<b>ACTIVIDAD</b>
LUNES	■ Construcción de partes y elementos de la maquina centrifuga.
MARTES	■ Construcción de partes y elementos de la maquina centrifuga.
MIÉRCOLES	■ Construcción de partes y elementos de la maquina centrifuga.
JUEVES	■ Se revisaron las tarjetas de potencia 2505 <sup>a</sup> /b y las tarjetas de control de potencia.
VIERNES	■ Se dio por terminada la revisión y limpieza de componentes eléctrico-electrónicos de la maquina K-1.

**SEMANA 7 DEL 24 AL 28 DE NOVIEMBRE DE 1997.**

<b>DIA</b>	<b>ACTIVIDAD</b>
LUNES	■ Se reviso el cabezal y se le dio mantenimiento al motor y a los aspectos mecánicos.
MARTES	■ Rearmado del cabezal y corrección de fallas en el vibrador.
MIÉRCOLES	■ Apoyo a mi compañero en el armado de la maquina.
JUEVES	■ Se finaliza el ensamble total de la maquina K-1.
VIERNES	■ Se efectúa una revisión general para determinar si se encuentra correctamente conectada y armada. ■ Se inician las pruebas de operación. ■ Se detecta una falla en el arranque debida al mal estado de los contactores de potencia del cabezal y del desplazamiento.

**SEMANA 8 DEL 1 AL 5 DE DICIEMBRE DE 1997.**

<b>DIA</b>	<b>ACTIVIDAD</b>
LUNES	■ Se detecta una falla en el armado del selector "U" corrigiéndose adecuadamente. ■ Continúan las pruebas de operación. ■ Se desensambla el cabezal al detectarse un corto circuito.
MARTES	■ Se detecta la ruptura de un cable conductor y se procede a corregirlo. ■ Se ensambla el cabezal. ■ Se detecta la ausencia de voltaje y corriente en el electrodo.
MIÉRCOLES	■ Se concluye que al encontrarse el contactor en mal estado produce un chispeo situación que favorece además de la edad de la maquina que los relevadores de potencia se queden en corto circuito, ocasionando una señal de aviso.
JUEVES	■ Se continúan efectuando pruebas de erosión. ■ Se ratifica la observación de los operadores de que el desplazamiento del cabezal es excesivamente lento y se procede a

	<p>revisar el clutch electromagnético ya que mencionaron que no operaba.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Se efectúan mediciones de parámetros de operación y se comparan con los diagramas dando como resultado una operación correcta tanto en el motor como en el clutch y determina que las fallas son de origen mecánico.</li> </ul>
VIERNES	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Se procede al ajuste de posición del clutch y se comprueba la existencia el campo magnético sin remover de su lugar las piezas.</li> <li>■ Se efectúan pruebas de avance y operación, satisfactorias.</li> </ul>

**SEMANA 9 DEL 8 AL 12 DE DICIEMBRE DE 1997.**

<b>DIA</b>	<b>ACTIVIDAD</b>
LUNES	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Se observa el comportamiento del servomotor de desplazamiento del cabezal y se propone al Ing. Sergio Beutelspacher y al Ing. Pablo Rivera una modificación mecánica de prueba para incrementar la velocidad de desplazamiento.</li> <li>■ Se acepta y se inicia la construcción y modificación.</li> </ul>
MARTES	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Se diseño y se acordó la característica de la pieza así como la forma en que se acoplaría y se conectaría.</li> <li>■ elaboración de las piezas.</li> </ul>
MIÉRCOLES	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Elaboración de las piezas.</li> </ul>
JUEVES	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Montaje y acondicionamiento físico del dispositivo.</li> <li>■ Prueba de operación, muy satisfactoria superando los resultados esperados.</li> </ul>
VIERNES	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Se efectúan pruebas de erosión aleatorias.</li> <li>■ Se detecta que las tarjetas de potencia ocasionan conflictos en la operación de la máquina.</li> <li>■ Se propone hacer pruebas con las tarjetas de potencia de la máquina K-2.</li> <li>■ Dichas pruebas se suceden de forma metódica dando resultados satisfactorios.</li> </ul>

**SEMANA 10 DEL 15 AL 19 DE DICIEMBRE DE 1997.**

<b>DIA</b>	<b>ACTIVIDAD</b>
LUNES	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Se establece una estrategia de pruebas para determinar la mejor manera de operación de la máquina.</li> <li>■ Pruebas de erosión y recolección de datos.</li> <li>■ Se propone la homogeneización de elementos electrónicos de las tarjetas de potencia de la máquina K-1 en equivalencia a las de K-2, así como la sustitución de elementos dañados.</li> <li>■ Se propone la implementación de un dispositivo electrónico de control manual para el desplazamiento del cabezal.</li> </ul>



MARTES	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pruebas de erosión y recolección de datos.</li> <li>■ Se ensayan diferentes formas de operación, sobre diferentes materiales.</li> </ul>
MIERCOLES	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pruebas de erosión y recolección de datos.</li> <li>■ Se diseña el circuito de control manual y se determinan las fuentes de las señales y sus características.</li> </ul>
JUEVES	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pruebas de erosión y recolección de datos</li> <li>■ Se autoriza el cambio de elementos electrónicos y se reciben los medios para adquisición de elementos y partes.</li> </ul>
VIERNES	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pruebas de erosión y recolección de datos.</li> <li>■ Montaje del ventilador 1 externo de enfriamiento general de la maquina K-1.</li> <li>■ Adquisición de elementos con los proveedores</li> </ul>

SEMANA 11 DEL 22 AL 26 DE DICIEMBRE DE 1997.

DIA	ACTIVIDAD
LUNES	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Montaje y cambio de elementos electrónicos en las tarjetas de potencia.</li> <li>■ Cambio de tarjetas de potencia en la maquina K-1 sustituyéndolas por las que le corresponden.</li> <li>■ Elaboración de un patrón de erosión de la maquina K-1.</li> <li>■ Pruebas de erosión y recolección de datos, siendo estos adecuados al cambio esperado (muy satisfactorio).</li> </ul>
MARTES	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Implementación y armado del dispositivo de control manual de desplazamiento del cabezal.</li> <li>■ Montaje del dispositivo.</li> <li>■ Prueba de operación (satisfactoria).</li> </ul>
MIERCOLES	■
JUEVES	■
VIERNES	■

## APENDICE B.

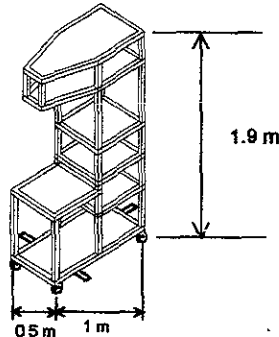
### MANUAL DE OPERACIÓN:

El presente documento permite a los usuarios tener un rápido acceso a una referencia inmediata, se divide en los siguientes temas:

- Descripción física de la máquina
- Características de transporte e instalación.
- Consumibles y materiales.
- Conexión para operación.
- Instalación y montaje de electrodos y piezas de trabajo.
- Carga de condiciones de operación.
- Verificación de puntos de seguridad.
- Procedimiento de arranque.
- Recopilación de datos.
- Herramientas

#### ⇒ Descripción física de la máquina

El prototipo de electroerosión fase II, es un sistema integrado por módulos, estos son; módulo de control, de seguridad y protección, fuente de alimentación, descarga eléctrica, de servomando, circulación del dieléctrico, cabezal, mesa de coordenadas y tina de trabajo.



Dimensiones generales del prototipo de electroerosión fase II.

Todos estos módulos están montados en la estructura básica y suman un peso aproximado de 200 kg. En la figura 3.3.1 se muestra su esquema con todos los módulos que integran el prototipo y en la figura 3.4.5.1 se aprecian sus dimensiones. Las características de la máquina están tabuladas en la figura 3.4.5.2.

## ESPECIFICACIONES DEL PROTOTIPO FASE II

Recorrido del portaelectrodo.....mm	300
Dimensiones de la tina de trabajo (largo x ancho x alto).....mm	355 x 300 x 170
Dimensiones de la mesa.....mm	290 x 290
Recorridos de la mesa.....mm	200 x 140
Máximo peso de la pieza..... kg	10
Máximas dimensiones de la pieza.....mm	100 x 100 x 150
Bomba del dieléctrico.....HP	0.25
Capacidad del tanque del dieléctrico... l	28
Peso máximo del electrodo.....kg	1.5
Intensidad.....Amp	10
Tensión de impulsos..... V	50
Potencia máxima requerida.....KVA	5

Tabulación de la principales características del prototipo de electroerosión fase II.

### ⇒ Características de transporte e instalación.

Para el transporte del prototipo, se le instalaron a la estructura 4 ruedas, dos de las cuales cuentan con un sistema de bloqueo, además tiene un mecanismo independiente de freno que es accionado de forma manual. El área mínima requerida para la instalación del prototipo debe ser de 4m<sup>2</sup> (2 x 2 m). Al llegar al lugar de trabajo, se recomienda en primera instancia bloquear las ruedas y accionar el freno mecánico, después poner a nivel girando los tornillos de los discos niveladores que se encuentran a los costados y en la parte trasera, verificando los niveles de burbuja situados al frente y a un costado de la máquina.

### ⇒ Consumibles.

Los materiales consumibles son los que intervienen directamente en el proceso de electroerosión, estos se encuentran tabulados en la figura 3.4.5.3.

Materiales del electrodo	Todos los conductores de la electricidad, pero regularmente se usan el Cu y grafito.
Materiales de trabajo	Todos los conductores de la electricidad, Cu, Al, Fe, W, etc.
Líquido dieléctrico	Aceites minerales (punto de inflamación entre 120 y 150°C) Petróleos (punto de inflamación entre 70 y 80°C).

Materiales consumibles en el proceso de electroerosión.

### ⇒ **Conexión para operación.**

Cuenta con la capacidad de conectarse a circuitos derivados independientes que soporten cargas mayores a 30 amperes, cuenta con dos tipos de conexión montables, una de contactos trifásicos y otra para conexión a cajas de cuchillas según sea el caso.

### ⇒ **Instalación y montaje de electrodos y piezas de trabajo.**

Al montar una pieza de trabajo o un electrodo se debe cuidar que estas no excedan los límites de área de trabajo ni interrumpan o se interpongan a los movimientos propios de la máquina, estos deberán estar bien fijos en sus espacios correspondientes con elementos destinados para tales efectos. Se tiene que considerar de manera importante que el desplazamiento máximo del cabezal, junto con la longitud del electrodo no lleguen a causar una penetración electroerosiva en la mesa de trabajo, situación que puede presentarse por un mal cálculo.

### ⇒ **Carga de condiciones de operación.**

Una vez que se han instalado los electrodos se determina por medio de los interruptores y selectores el tipo de trabajo que realizará la máquina, esto es asignar a los controles las condiciones deseadas, sean intensidad, frecuencia, limpieza longitud de penetración, esta información se anotará en la hoja de trabajo de la máquina.

### ⇒ **Verificación de puntos de seguridad.**

Esta situación es un requerimiento indispensable en la industria ya que ofrece una mayor seguridad al operador y a la máquina para evitar riesgos, entonces establecemos un orden de verificación y con este orden se anotan o se indican las observaciones pertinentes

Orden:

1. La máquina por ninguna razón debe estar al inicio activada en alguno de sus interruptores.
2. Evitar cualquier tipo de obstrucción al paso o alrededor de la máquina.
3. Evitar las fuentes de riesgo del área donde se ubica la máquina.
4. **Antes de la operación**, el operador deberá contar con el equipo y herramienta necesarias para el uso de la máquina.
5. Verificar que todos los conectores y elementos mecánicos se encuentren debidamente puestos y asegurados.
6. Los selectores e interruptores deberán encontrarse situados en la posición adecuada a las necesidades de trabajo o prueba (por

ninguna razón en la primera operación se debe someter a la máquina a una prueba máxima de operación).

7. Los elementos de protección y seguridad deberán verificarse antes de la primera operación y eventualmente para saber si están en condiciones óptimas de operación.
8. Los electrodos (herramienta de trabajo y pieza de trabajo), deberán estar adecuadamente sujetas y posicionadas de forma tal que no sea obstruido el desplazamiento o acceso de los demás elementos.
9. Llaves, válvulas, grifos, filtros, deberán estar adecuadamente posicionadas o regulados.

Al iniciar la operación de una máquina por primera vez, siempre se recomienda asegurarse que tanto los elementos físicos, las señales y los indicadores estén correctamente conectados o relacionados, de la misma forma se busca también que los parámetros de los elementos de alimentación y operación coincidan o sean los sugeridos por el fabricante.

#### 1. En el módulo de suministro eléctrico.

- Antes de conectar a la acometida eléctrica la máquina se verificará con instrumentos que la polaridad y voltaje correspondan a los parámetros de la máquina.
- El tipo de conector debe ser adecuado al de la máquina, en caso de no ser así las uniones o extensiones deberán ser correctamente hechas verificando que:
  - El conductor sea el adecuado (calibre y aislante)
  - La polaridad deberá ser correspondiente uno a uno.
  - Los aislantes deberán ponerse adecuadamente evitando amontonamientos o uniones incorrectas.
  - No improvisar uniones o conexiones.
- El sistema de tierra deberá ser adecuado al tipo de conector y sistema de referencia.
- No se deben tender los cables de conexión sobre superficies húmedas, mojadas o corrosivas, tanto menos los conectores.

#### 2. En las condiciones físicas de la máquina.

- Las tarjetas y conectores deberán estar bien posicionados, ubicados y unidos, si cuentan con un seguro o bloqueo éste deberá estar cerrado.
- Los cables y conductores, así como las zapatas de unión no deben estar dañados o maltratados, los aislantes y recubrimientos no deberán estar rotos o deteriorados.
- Los selectores e interruptores no deberán estar sueltos, rotos o dañados.

- Que no existan elementos conductores que unan directamente el electrodo del cabezal y la estructura de la máquina.

### 3. En el montaje de las piezas de trabajo

- Al instalar las piezas de trabajo la máquina deberá estar apagada en el sistema del generador, servomando y corriente en el electrodo.
- El detector de corto circuito o señal acústica deberá estar encendido.
- No debe haber piezas sueltas dentro de la tina de trabajo.
- La pieza de trabajo deberá estar bien sujeta.
- Los elementos de sujeción y fijación no deben interrumpir el desplazamiento del cabezal.

### 4. Para el operador.

- Deberá contar con el equipo de seguridad (guantes, gafas zapatos, overall o bata, de ser posible casco).
- Deberá contar con la herramienta necesaria para montaje o liberación de piezas y elementos de la máquina.

Una vez que todo lo anterior ha sido activado el indicador de corriente se desplazará en el momento que exista distancia en el gap para una ruptura dieléctrica.

Si la operación muestra una descarga constante la máquina realizará por sí sola la erosión, limpieza, el asenso y descenso del cabezal y al terminar indicará con una señal acústica el fin de su tarea.

Si la máquina presentara un problema indicará automáticamente con una señal luminosa y/o acústica dicho fenómeno, desactivando el generador, si es el caso el operador procederá a ubicar la fuente del problema, efectuará las anotaciones correspondientes en una bitácora y procederá a solucionar o resolver el problema.

#### ⇒ Procedimiento de arranque.

Una vez que lo anterior ha sido realizado se procederá a encender ordenadamente la máquina.

- Interruptor general      apagado → encendido.
- Lámpara de iluminación.
- Bomba de fluido dieléctrico (para regular caudal y nivel de la tina).

- Interruptor del generador (al activar este interruptor el indicador de voltaje mostrará un desplazamiento).
- Interruptor de intensidad de corriente.
- Interruptor del servomando.

Los puntos anteriores son de forma genérica el orden de encendido y a continuación se muestra el orden ideal.

Encendido del Interruptor principal.  
 Montaje de la pieza de trabajo  
 Ajuste y calibración de la pieza de trabajo  
 Fijación de la pieza de trabajo.  
 Ajuste de la carrera del cabezal para penetración.  
 Ajuste del interruptor de fin de curso.  
 Encendido del Interruptor de bomba de fluido.  
 Ajuste de caudal e incidencia de chorro.  
 Ajuste de conductos de desasolve de tina y nivel de fluido.  
 Selección de parámetros de trabajo  
 Voltaje  
 Corriente  
 Frecuencia de descarga  
 Tiempo de pausa  
 Tipo de trabajo  
 Desbaste  
 Super acabado.  
 Encendido del Interruptor del Amplificador de Potencia.  
 Encendido del Interruptor de corriente del electrodo.  
 Encendido del Interruptor del servomando.

Lo anterior idealmente representa la forma adecuada de operación, si en los últimos tres puntos se omitiera el orden el control de la máquina se protegerán automáticamente los sistemas. Si el interruptor del amplificador de potencia no se activa, tampoco actuará el interruptor de la corriente en el electrodo, pero el interruptor del servomando si podrá ser activado teniendo dos posibilidades de operación basándose en un conmutador de perilla (automático/manual), si se encuentra en la selección automática no sucederá ninguna actividad, en cambio si se encuentra en manual el operador podrá ajustar la posición del electrodo, de esta forma o efectuará el ajuste de la máquina sin correr riesgos de descarga eléctrica.

En el modo manual un circuito actuara generando una señal audible de continuidad entre el electrodo y la pieza de trabajo, con el fin de facilitar el montaje y calibración de las piezas.

## ⇒ Recopilación de datos.

La recopilación de datos nos sirve para crear manuales, bitácoras, historiales, o métodos de proceso, lo que en otras palabras sería establecer las regulaciones que se deben seguir en los procesos, y en nuestro caso en el proceso de maquinado por descarga eléctrica, existen formatos donde el usuario anota las condiciones de operación de una máquina, posición de los potenciometros, palancas, perillas botones, etc. Y esta información nos sirve para determinar las condiciones optimas de operación, poder repetir en forma ordenada los pasos en el trabajo, o ubicar errores durante el mismo, a continuación se muestra un formato sugerido para tal efecto.

Material del electrodo	Parámetros básicos secundario							Electrodo					Observaciones.		
	Superficie Nr. deseada	Polaridad	Intensidad	TI	TP	Gap	Limpieza	Intensidad media	Gap desgaste	Gap acabado	Longitud	Desgaste %L		Desgaste %	Tiempo real de mecanizado

Material del electrodo.- Define el material del electrodo.

Superficie Nr. Deseada.- Determina el grado de rugosidad deseada en la superficie de la pieza de trabajo.

Polaridad.- Es la forma en que el flujo eléctrico se hará presente en los electodos.

Intensidad.- Define la cantidad de corriente empleada durante las descargas eléctricas, dependiendo de la capacidad de la máquina.

TI.- Tiempo de intensidad, Define la cantidad de tiempo en que se sucederán las descargas eléctricas.

TP.- Tiempo de pausa.- Corresponde al tiempo en que no existirán descargas eléctricas.

Gap.- Es la distancia que separa los electodos.

Limpieza.- depende de dos factores que son el tiempo en el que la maquina esta desbastando el área de trabajo y un tiempo en que se limpia dicha área de trabajo, es decir, define la cantidad de tiempo en el que se



sucedarán las descargas, y el tiempo en que la máquina realiza un lavado en esta área.

**Intensidad media.**- Es el valor promedio leído en la carátula del amperímetro.

**Gap desgaste.**- Es la distancia presente en el gap cuando a la máquina se la asigna la tarea de realizar perforaciones sin importar la rugosidad de la superficie, este gap puede estar comprendido de 3 a 0.001 mm., debido a la intensidad de la corriente.

**Gap acabado.**- Es la distancia presente en el gap cuando a la máquina se la asigna la tarea de realizar un trabajo de descarga eléctrica a altas frecuencias y baja intensidad, permitiendo una distancia de 0.001 a 0.0001 mm, dando origen a superficies muy lisas.

**Longitud (L).**- Es la distancia del electrodo, que comprende desde la punta hasta una referencia asignada o la parte donde se sujeta.

**Desgaste %L.**- Junto con el tiempo de mecanizado, nos permite calcular la vida útil de un electrodo.

**Desgaste %.**- Es la relación entre el desgaste del electrodo y el desgaste de la pieza de trabajo.

**Tiempo real de mecanizado.**- Es el valor en tiempo real que se lleva la máquina, hasta que el interruptor de fin de curso anula la función de desgaste.

# APENDICE C.

## TABLAS

Concepto	Rango
Voltaje Fase-Neutro	127 Vac.
Voltaje Fase-Fase	220 Vac.
Corriente	10 Amp.
Potencia	2500 W

TABLA A

Parámetros básicos del prototipo II:

Las siguientes tablas muestran las particularidades técnicas con las que cuenta este dispositivo.

RANGOS Y ESPECIFICACIONES DEL SERVOMOTOR SGM (100VAC).

Rango de tiempo	Continuo	Humedad ambiental	20 a 80 % no condensado
Aislante	Clase B	Vibración	15 micrómetros. o menor
Withstand Voltage	1500 VAC		
Resistencia del aislante	500 VDC, 10Mohms o mayor	Excitación	Magnéto permanente
Armado	Totalmente cerrado, auto-enfriado	Montaje	Montaje de bordes
Temperatura de operación	C		

Detalle		Motor Tipo SGM-01B312
Potencia de Salida*	W (HP)	100(0.13)
Rango de Torque* (lb * in)	N * m	0.318 (2.82)
Pico Instantaneo de Torque* (lb * in)	N * m	0.96 (8.46)
Rango de Corriente*	A (rms)	2.2
Máxima Corriente Instantánea*	A (rms)	7.1
Rango de Velocidad*	r/min	3000
Máxima Velocidad Instantánea*	r/min	4500
Constante de Torque*	N * m/A (rms)	0.156

(lb * in/A) (rms)		(1.37)
Momento de Inercia	Kg * m <sup>2</sup> X 10 <sup>-1</sup>	0.040
Jm(=GD <sup>2</sup> M/4)	(lb * in/A) (rms)	(0.036)
Rango de Potencia*	kW/s	25.4
Rango de Aceleración Angular*	rad/seg <sup>2</sup>	79500
Tiempo Constante de Inercia	ms	0.6
Tiempo constante de Inducción	ms	1.6

**TABLA B**

Notas:

Los detalles marcados con un \* y las características de velocidad de torque fueron medidas cuando el arreglo de armadura fue combinado con el Servopack SGD es de 100 C. Otros datos fueron tomados cuando la temperatura es de 20 °C, todos los datos son valores típicos. El rango de torque se puede disponer de forma continua cuando el motor esta montado en un disipador de 250 X 250 X 6 (mm) y la temperatura ambiente es de 40 C.

Cuando las opciones son aplicadas, la inercia se incrementa de acuerdo a la siguiente tabla. Las características varían en base a:

Detalle		Motor SGM-01B
Con Freno Sostenido	kg * m <sup>2</sup> X 10 <sup>-1</sup>	0.0085
(lb * in * s <sup>2</sup> X 10 <sup>-1</sup> )		(0.0074)
Con 12 bit ABSO	kg * m <sup>2</sup> X 10 <sup>-1</sup>	0.025
(lb * in * s <sup>2</sup> X 10 <sup>-1</sup> )		(0.021)

**TABLA C**

La siguiente tabla muestra los modos de función del operador digital, estos prevalecen cuando la alimentación del control es encendida. Para cambiar el modo de operación es necesario seguir la ruta como lo indican los puntos como se muestran en el diagrama 3.1. (capítulo III).

Modo	Función
Modo de Estado de Indicaciones	Varios Estados de Indicación · Block Base · En Operación · Problemas
Modo de carga de Datos(setting mode)	Referirse a las constantes de carga por el usuario. · Operación desde el operador Digital. · Referencia de velocidad / referencia de torque, ajuste offset · Borrado de ruta de datos anormales. · Verificador de los parámetros del motor. · Autoajuste. · Verificación de la versión de software.
	Varios monitoreos.

Modo monitor	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Velocidad</li> <li>· Referencia de velocidad.</li> <li>· Referencia de Torque.</li> <li>· Número de Pulsos desde Origen (Fase-U).</li> <li>· Angulo Eléctrico.</li> <li>· Estado de Bit interno.</li> </ul>
Modo Indicador de Ruta Anormal	Indicación de Problema Sucedido

**TABLA D**

Bit de Información	Contenido	Comentario
Fuente de poder (Encendido)	La luz se enciende si la fuente esta activa	
BB	La luz se enciende con el block base y se apaga cuando el servo esta activo.	
Posicionamiento De completado	La luz se enciende cuando los pulsos de retardo del contador de error, encuentra la posición de completado, en el set de rango amplio en constantes usuario Cn-1B	
TGON	La luz se enciende cuando el motor tiene una velocidad de rotación mayor que el nivel TGON	Seleccionada por el bit 4 de las constantes usuario Cn-01
Detección del limite de corriente	La luz se enciende cuando la referencia de torque encuentra el valor del limite de torque	Seleccionada por el bit 4 de las constantes usuario Cn-01
Referencia del pulso de entrada	La luz se enciende al detectar la entrada del pulso de referencia	

**TABLA E**

	CONDICION
Bb	Block Base
Run	En Operación
Pot	Carrera de Avance Interrumpida
Not	Carrera de Reversa Interrumpida
A.00	Estado de alarma Referirse a la tabla 3.10

**TABLA F**

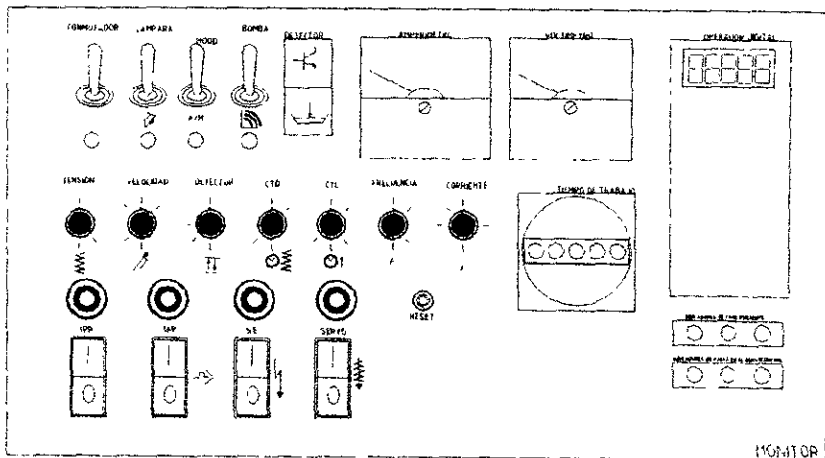
La siguiente tabla muestra los símbolos para confeccionar esquemas cinemáticos.

Denominación	Símbolo	Denominación	Símbolo
Apoyos para vástagos: a) inmóvil, b) móvil		Acoplamientos de fricción: a) unilateral, b) bilateral	
Unión de vástagos: a) articulada b) articulada esférica		Acoplamientos de fricción con generador (sin precisar el tipo): b) cóncavo unilateral, c) cóncavo bilateral, d) de láminas unilaterales, e) de láminas bilaterales	
Cojinete radial de deslizamiento		Frenos: a) conico, b) de zapatas, c) de cinta, d) de disco	
Cojinetes de rodadura: a) misma designación general b) radial de rodillos, c) axial de bolas, de una fila		Excentricos de tambor cilindricos	
Asentamiento de piezas en el árbol: a) de rotación libre b) deslizable durante la rotación, c) con chaveta conrediza, d) con sujeción rígida		Cilindro tipo con embolo y biela	
Unión de dos árboles: a) rígida, b) elástica, c) articulada		Transmisión por correa plana: a) abierta, b) cerrada, c) cruzada	
Unión de la manivela con la biela (con radio constante)		Cambiacorreas	
Unión del árbol cigüeñal con la biela: a) de un codo, b) de dos codos		Transmisión por correa trapecial	
Mecanismo de manivela y colisa giratoria		Transmisión por cadena a) abierta, b) cerrada	
Polea escalonada asentada rigidamente en el árbol		Transmisiones de fricción: a) con rodillos cilíndricos, b) con rodillos cóncavos, c) con rodillos cóncavos regulable frontal r. regulable	
Mecanismo de trinquete unilateral con engrane exterior		Transmisiones dentadas (cilíndricas), engrane exterior (designación general sin precisar el tipo de dientes)	
Transmisiones de fricción: a) con rodillos cilíndricos, b) con rodillos cóncavos, c) con rodillos cóncavos regulable frontal r. regulable		Transmisiones dentadas con árbol en intersección (worms), designación general sin precisar el tipo de dientes	

TABLA H

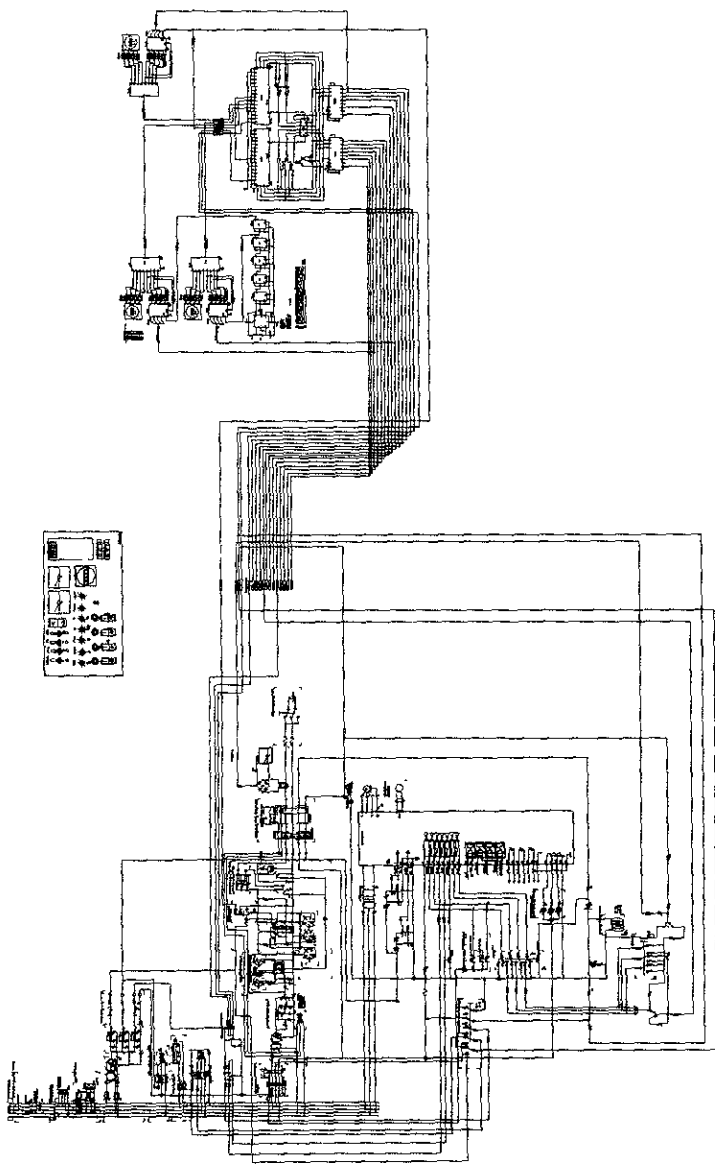
# APÉNDICE D

## DIAGRAMAS Y PLANOS DE FABRICACIÓN.

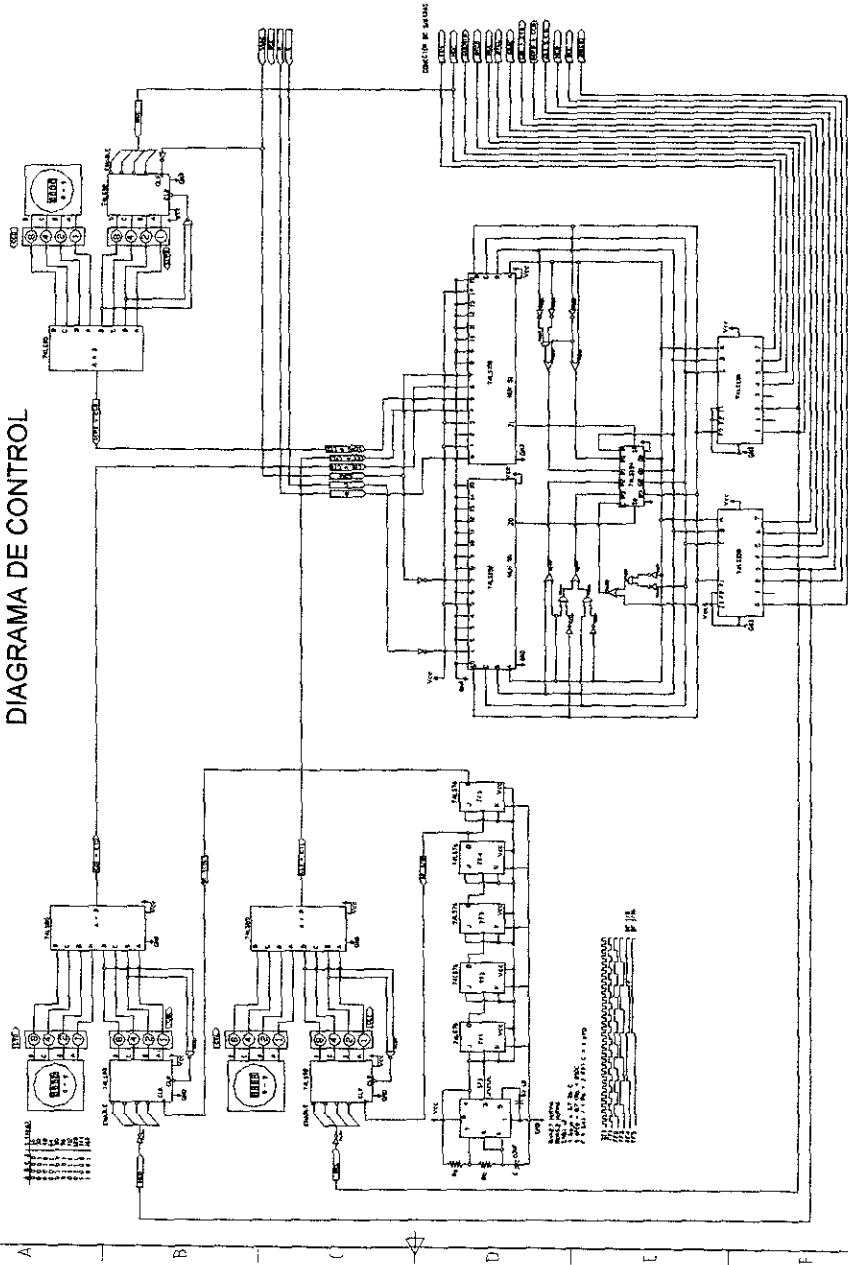


**MONITOR DEL PROTOTIPO DE ELECTROEROSIÓN FASE II**

PLANO GENERAL ELÉCTRICO Y DE CONTROL

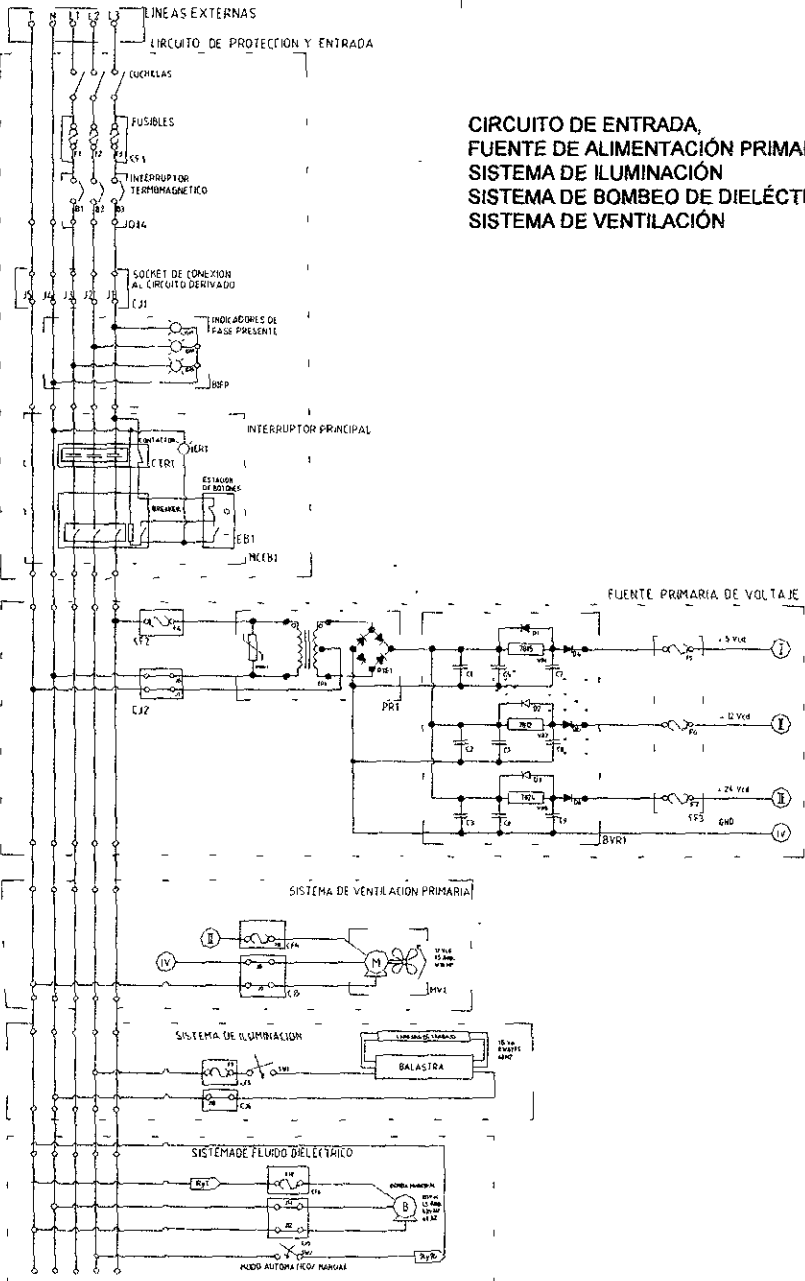


# DIAGRAMA DE CONTROL

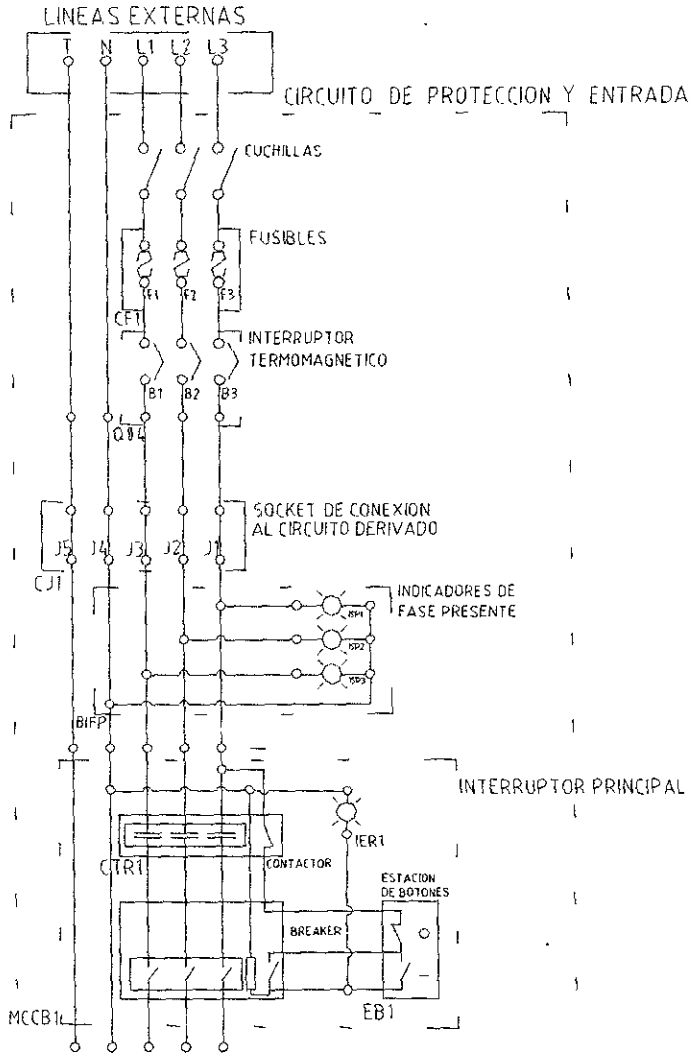




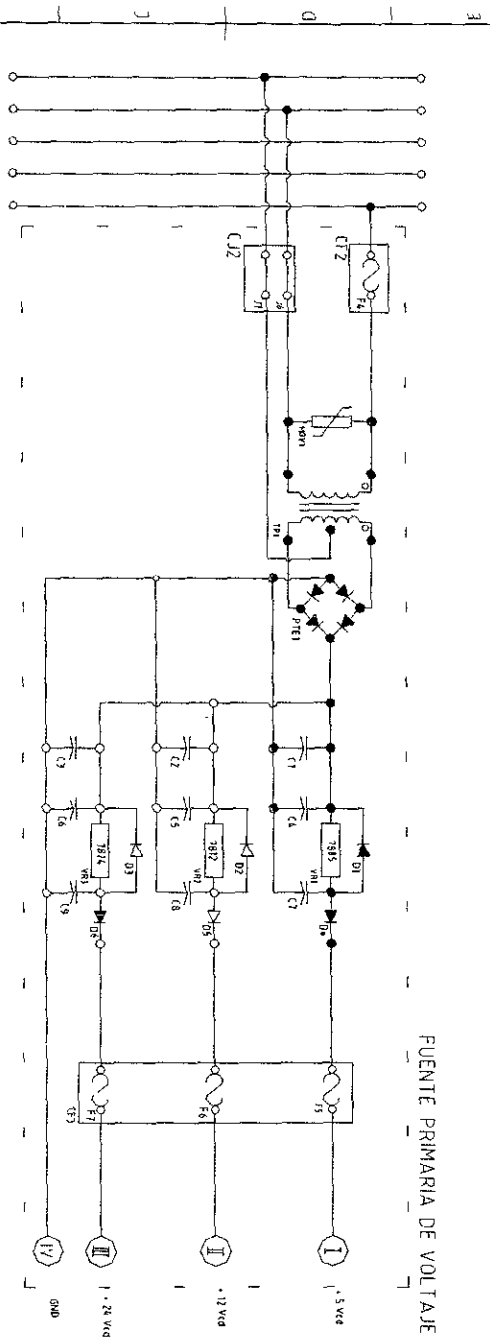
**CIRCUITO DE ENTRADA,  
FUENTE DE ALIMENTACIÓN PRIMARIA  
SISTEMA DE ILUMINACIÓN  
SISTEMA DE BOMBEO DE DIELECTRICO  
SISTEMA DE VENTILACIÓN**



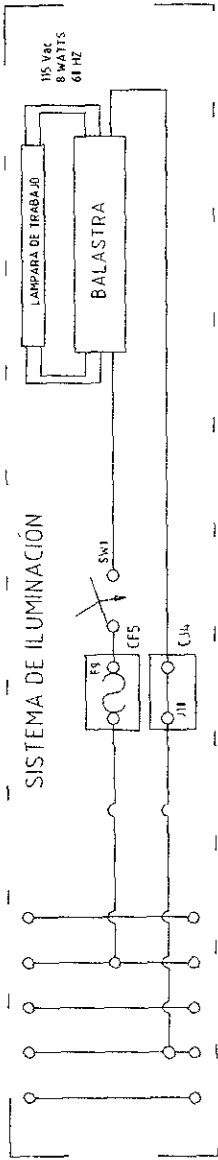
# CIRCUITO DE ENTRADA



# FUENTE PRIMARIA DE VOLTAJE



FUENTE PRIMARIA DE VOLTAJE



SISTEMA DE ILUMINACIÓN

115 Vac  
8 WATTS  
60 HZ

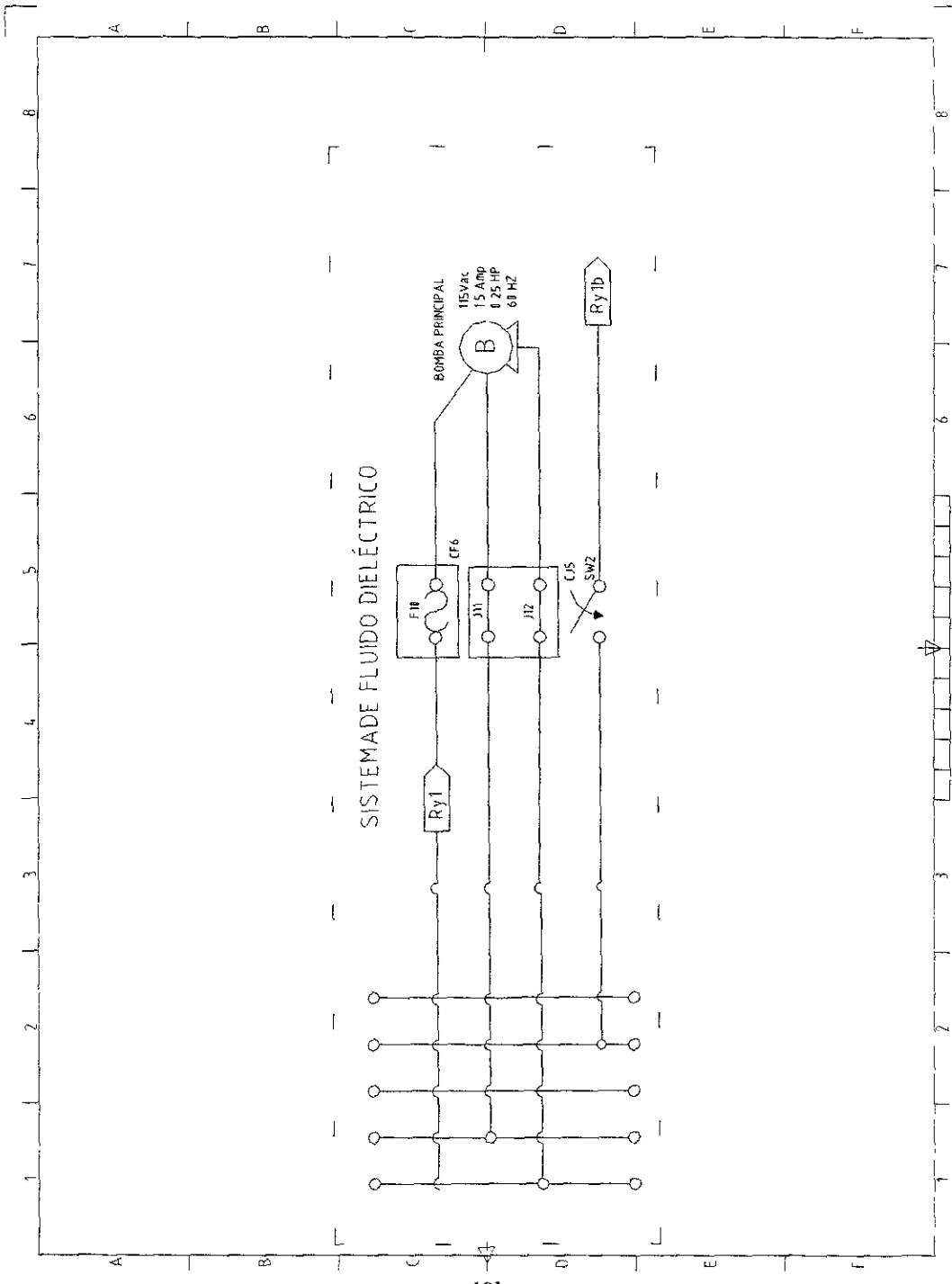
LAMPARA DE TRABAJO

BALASTRA

SW1

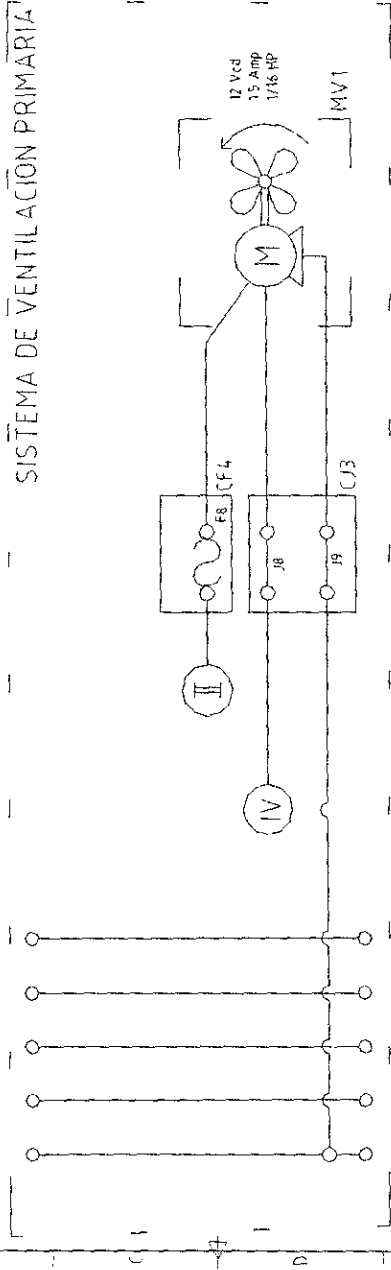
F5

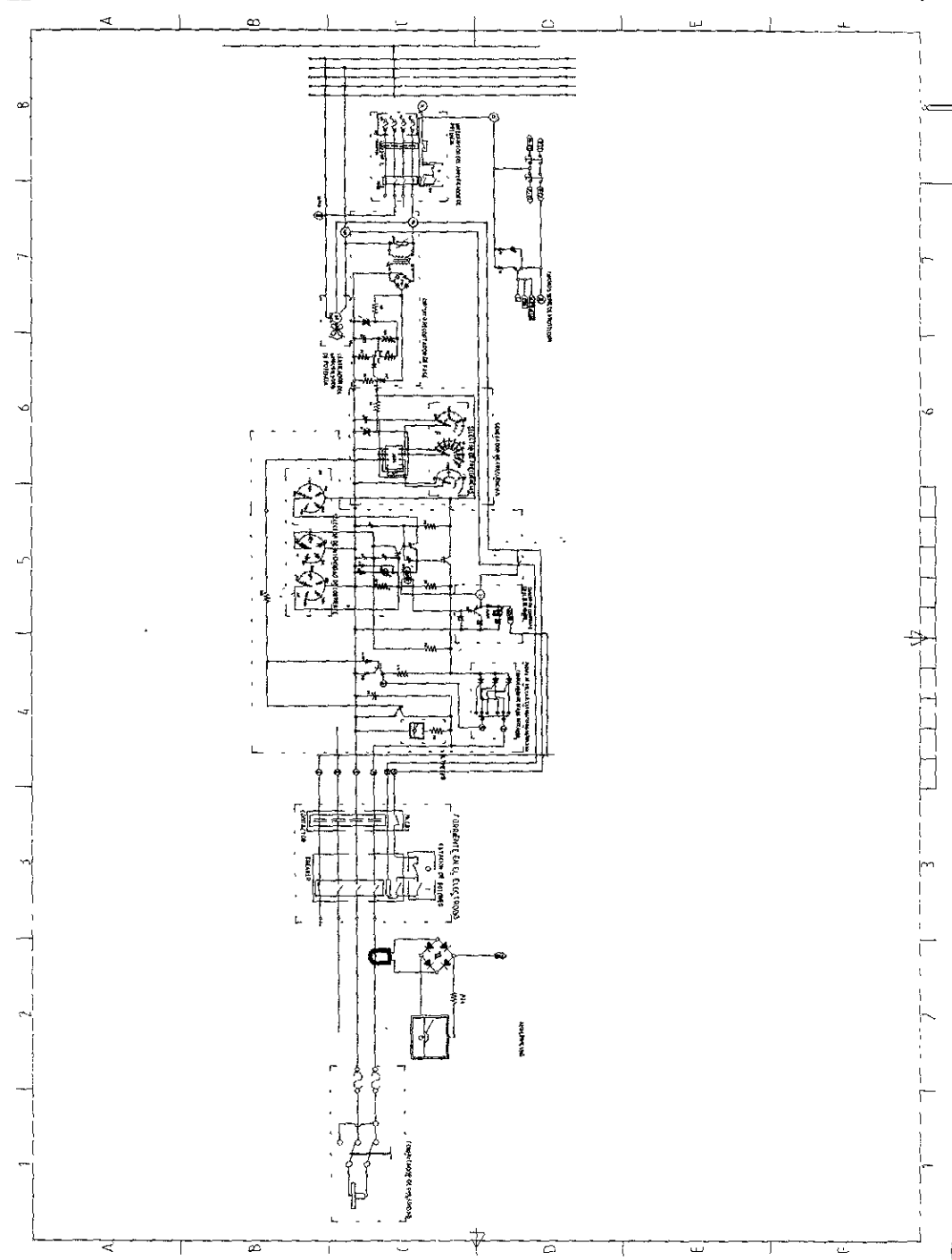
C34

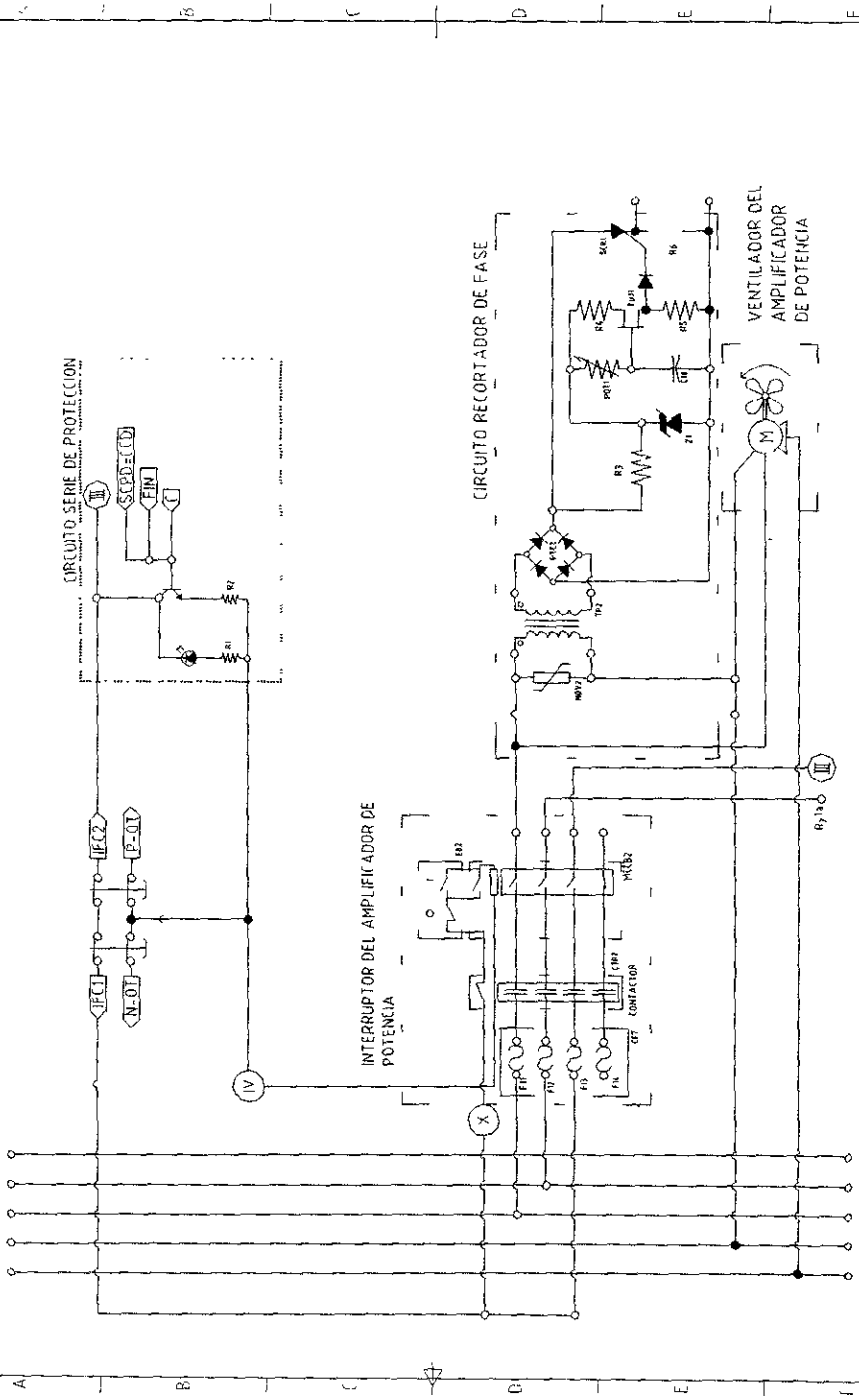


SISTEMADE FLUIDO DIELECTRICO

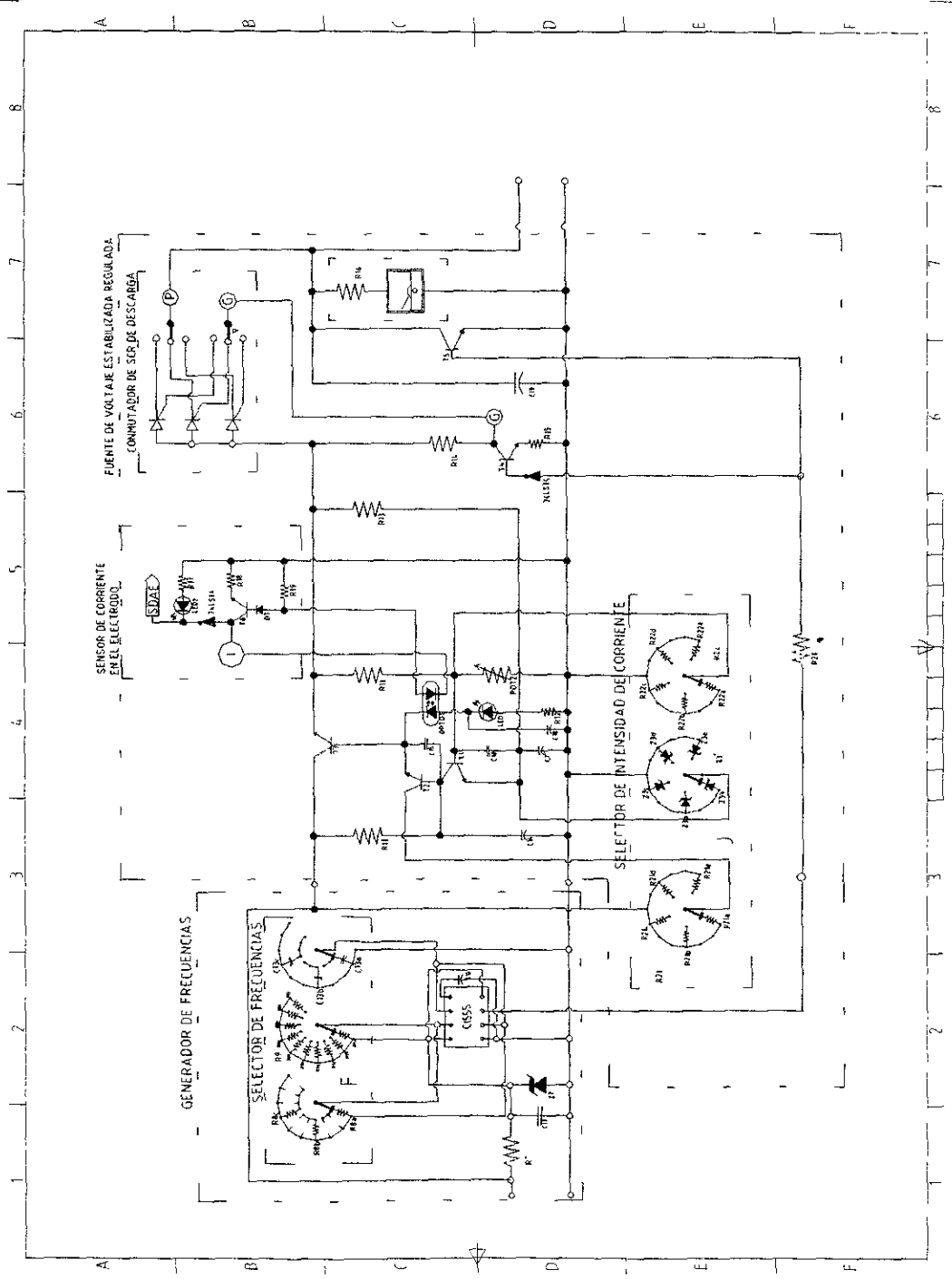
SISTEMA DE VENTILACIÓN PRIMARIA

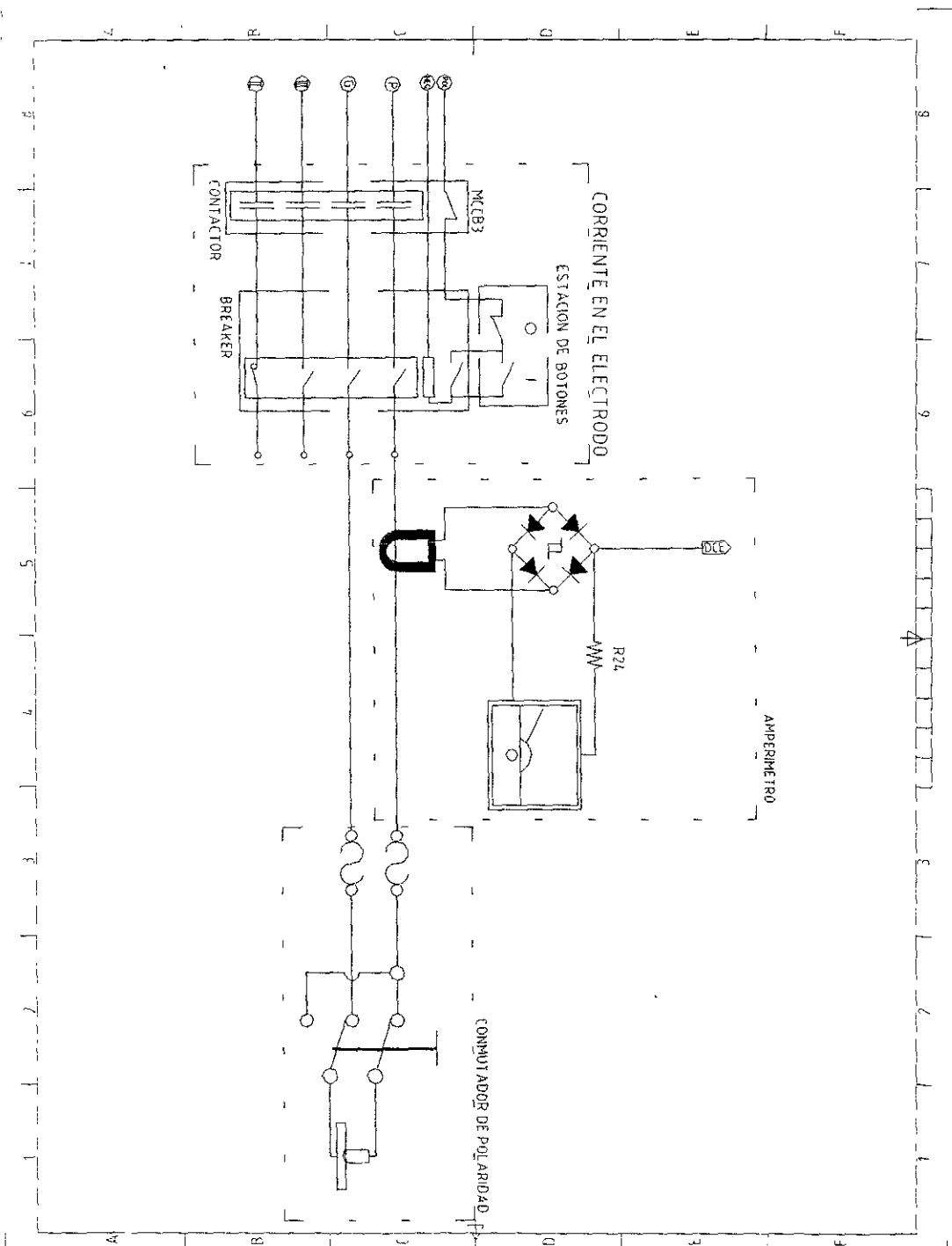


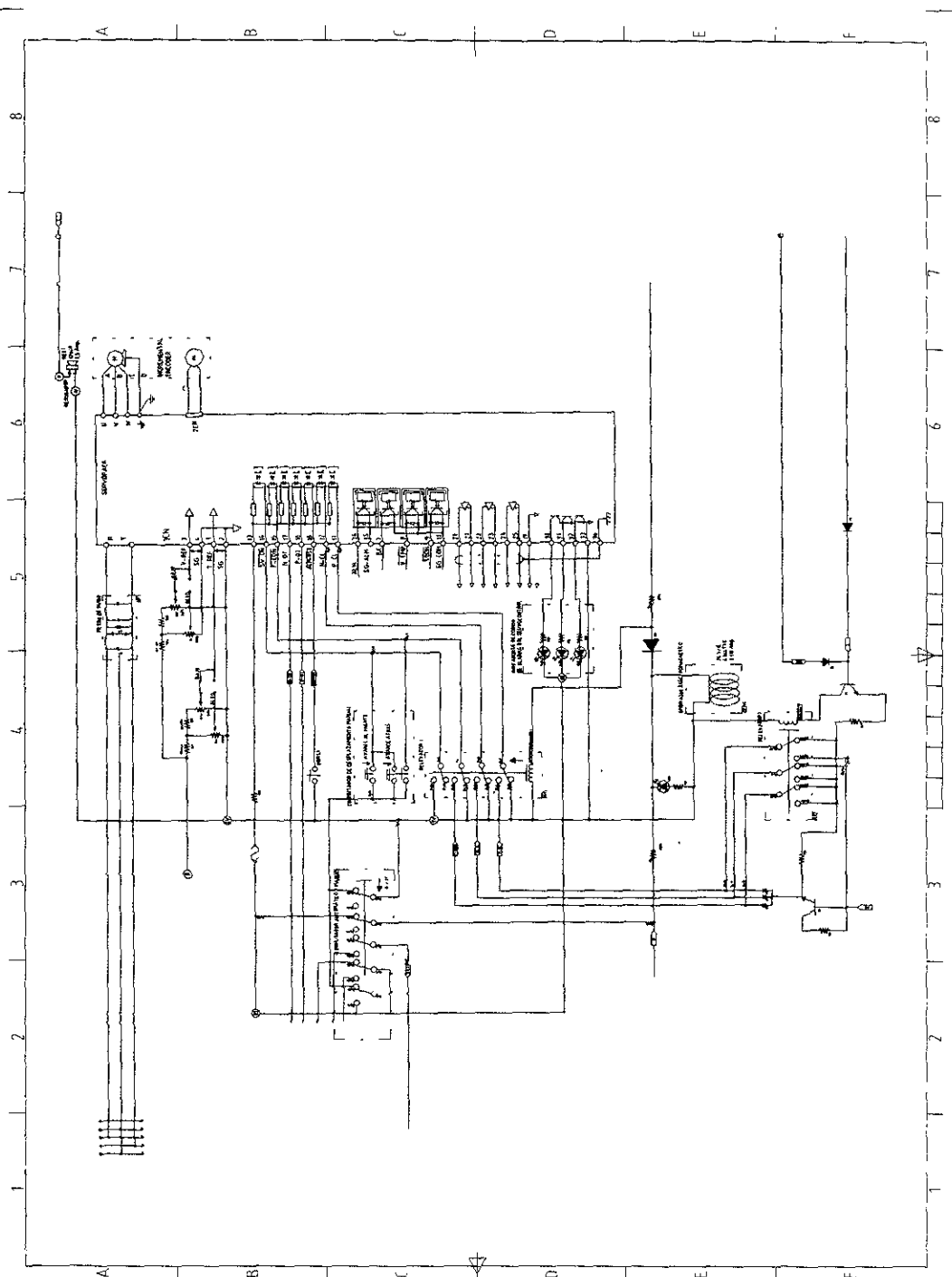




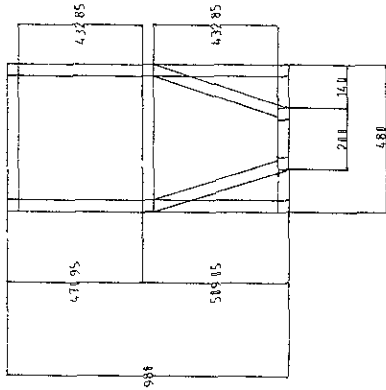




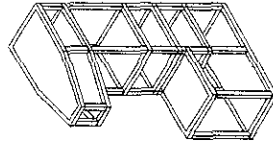
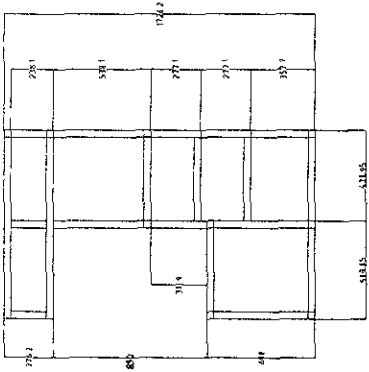




VISTA SUPERIOR

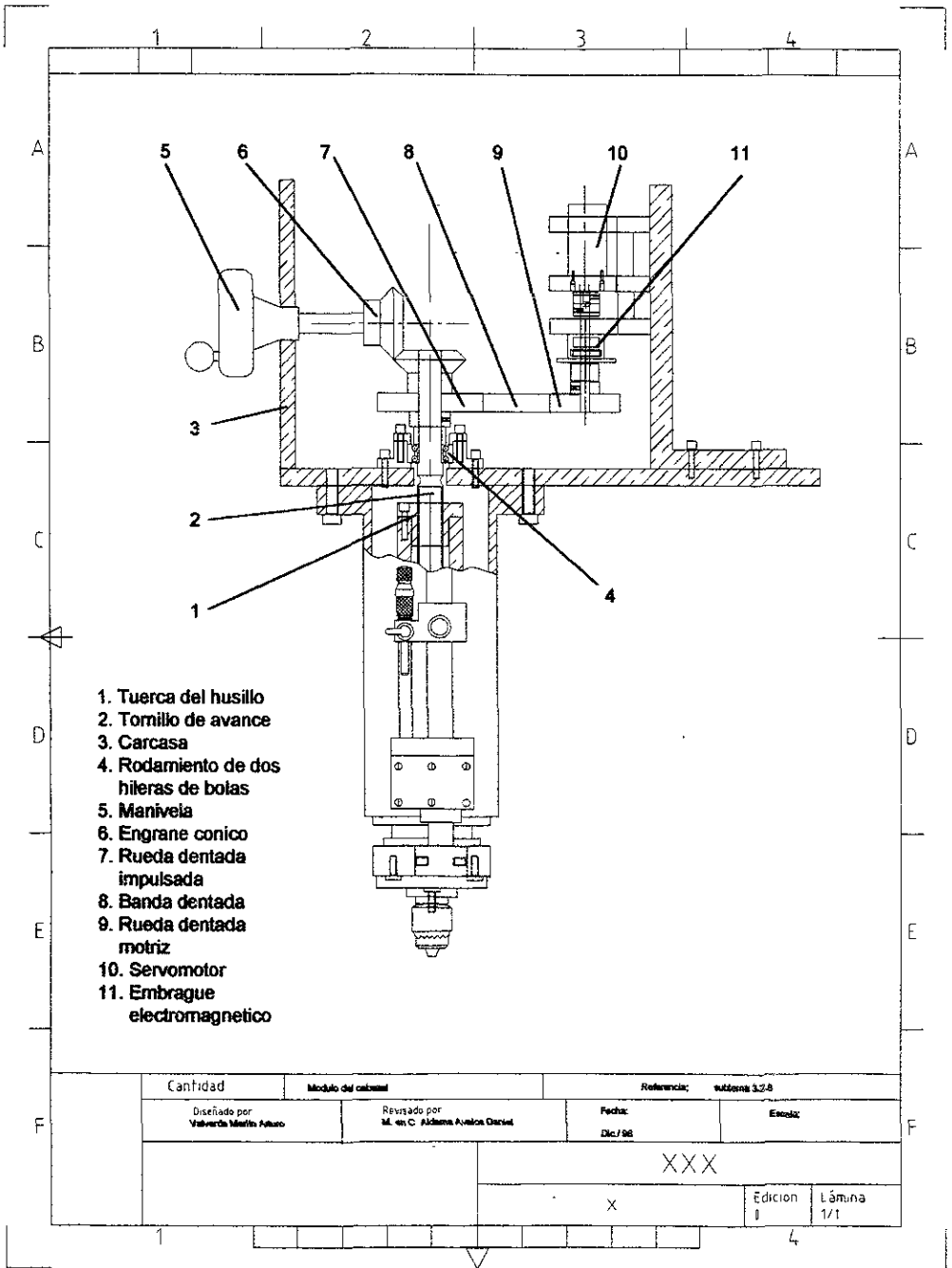


VISTA LATERAL



ISOMETRICO

Camidad 1	Educador del taller de prototipo	Referencia, academia 3 20
Diseñado por Valencia Martín Anuro	Revisado por M. en C. Adán Avelino Durral	Fecha Nov/7/06
		Escala 1:20
		XXX
	Materia: Tubo aluminio 38. mm Dimensiones: PPR Dimension mm	X
		Educacion Luzanne 1/1



Cantidad	Modulo del cableado	Referencia:	Módulo 3.3.8	
Diseñado por Valverde Martín Arturo	Revisado por M. en C. Aldemar Avellan Daniel	Fecha: Dic/98	Escala:	
		XXX		
		x	Edición 1	Lámina 1/1

## BIBLIOGRAFIA.

1. Chavez del Valle Porfirio.  
Diseño y fabricación del prototipo de un equipo para maquinado de metales por descarga eléctrica.  
Tesis ENEP Aragón.  
1992
2. Internet. (Máquinas de electroerosión)  
WWW. EDM central.  
1997.
3. Manual del usuario.  
Sigma SGM/SGD.  
AC Servo Drives with Incremental/Absolute Encoder for Speed (Torque) Control.  
YASKAWA ELECTRIC CORPORATION.  
Japan, July 1993.
4. Apuntes.  
Seminario de Ingeniería Mecánica Eléctrica.  
Semestre 94-2.
5. Manual de Reemplazos Electrónicos ECG.  
Semiconductores.  
Master Replacemen Guide.  
1996.
6. Stephen J. Chapman.  
Máquinas Eléctricas.  
Ed. Mc. Graw Hill  
2ª edición. Colombia, 1997.
7. AGIE.  
Operatin Instructions.  
Agitron Spark Eroton Machines.  
Types AA, AB, AB-GT, AC, | series33|.  
AG fur industriele Electronik.  
Losone-Lorcano (093) 23461 Agieba Locarno 59253 Losone.  
Functional plan for generator.  
Circuit diagram. (1966,1967,197,1975).

8. Webster's II.  
New Riverside University Dictionary.  
The Riverside Publishing Company.
9. L. J. Bulliet.  
Servomecanismos.  
1989.
10. C. Angulo, A. Muñoz, J Pareja.  
Prácticas de electrónica, Semiconductores básicos; diodo y transistor.
11. Robert Boylestad, Louis Nashelsky.  
Electrónica y Teoría de los Circuitos.  
Ed. Prentice Hall  
4ª edición. México, 1988,.
12. Apuntes  
Diseño de máquinas.  
Semestre 97-1
13. R.L. Timings.  
Tecnología de la fabricación .  
Ed. Alfaomega
14. Amstead B.H.  
Procesos de manufactura.  
Ed. CECSA.
15. Ferdinand L. Singer, Andrew Pytel.  
Resistencia de Materiales.  
Ed. HARLA.
16. R.L. Timings.  
Tecnología de la fabricación.  
Ed. Alfaomega
17. Elementos de máquinas.  
Ed. CEAC. 1980.
18. J. E. Shigley, C. R. Mischke.  
Diseño en ingeniería mecánica.  
Ed. McGraw-Hill.

19. Máquinas herramientas I, Elementos generales.  
Ed. Gustavo Gili.
20. B. Balankshin.  
Fundamento de la construcción de maquinaria.  
Ed., MIR. Moscú.
21. Allen- S. H., Alfred R. H.  
Teoría y problemas de diseño de máquinas.  
Ed. McGraw-Hill.
22. Joseph Schrock  
Montaje, ajuste y verificación de elementos de máquinas.  
Ed. Reverte
23. Garza Cárdenas J.A:  
Diseño de máquinas, teoría y practica.  
Ed. Continental. 1989.
24. Alejandro Ramírez Rievich.  
Diseño y fabricación de una máquina canceladora.  
Tesis. UNAM, 1989
25. Pere Molera Solá.  
Electromecanizado. Electroerosión y mecanizado electroquímico.  
Ed. Marcombo, 1989.
26. Y. S. Wong, L. C. Lim.  
Journal Materials Processing Technology. Near-mirror-finish phenomenon in EDM. (feb-1997).